

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE INMERSIÓN PARA UN
VEHICULO AUTÓNOMO SUBMARINO.**



Memoria

Autor:	Francisco Miguel Bernal van der Ven
Director:	Spartacus Gomariz
Co-Director:	Ivan Masmitja
Convocatoria:	Octubre 2019

Resum

El Guanay II [1] [2] [4] [9] [10] [17] [42] [43] [44], és un vehicle autònom submarí desenvolupat per SARTI, Sistemes d'Adquisició Remota i Tractament de la Informació, de la UPC, Universitat Politècnica de Catalunya, que està permanentment en desenvolupament, sent les seves millores i modificacions cosa habitual.

Per realitzar les immersions, el seu sistema de flotabilitat és capaç de controlar les variacions de pes del conjunt a voluntat.

Seguint estudis i aplicacions ja desenvolupades en altres vehicles [7] [8], es planteja la implementació i substitució d'aquest sistema, per un altre, que faci aquest control mitjançant un canvi gradual de volum. Per això és necessari utilitzar una sonda de pressió exterior ja existent, que aporta la informació necessària per saber la profunditat del vehicle.

La realització d'aquest canvi, suposa extreure el sistema actual i substituir-lo per un de nou. En el projecte, es justifica i realitzen els càlculs necessaris que corroboren les millores del sistema plantejat.

Es realitza una selecció de materials per a la seva implementació plantejant la seva construcció, adaptant el programa de simulació existent als requisits i limitacions d'aquests i es preveu el comportament que tindrà el vehicle aplicant simulacions, comparant els resultats obtinguts amb dades de proves realitzades anteriorment en seva utilització, actuant com un perfilador vertical.

Es construeix i es posa en pràctica, els conceptes teòrics demostrats, mitjançant un prototip que simula el vehicle, podent variar la seva flotabilitat, per canvi de volum des de la superfície.

Els resultats obtinguts demostren la viabilitat del nou sistema per a la seva futura implementació en el Guanay II.

Resumen

El Guanay II [1][2][4][9][10][17][42][43][44], es un vehículo autónomo submarino desarrollado por SARTI, Sistemas de Adquisición Remota y Tratamiento de la Información, de la UPC, Universidad Politécnica de Catalunya, que está en permanente en desarrollo, siendo sus mejoras y modificaciones algo habitual.

Para realizar las inmersiones, su sistema de flotabilidad es capaz de controlar las variaciones peso del conjunto a voluntad.

Siguiendo estudios y aplicaciones ya desarrolladas en otros vehículos [7][8], se plantea la implementación y sustitución de este sistema, por otro que realice este control mediante un cambio gradual de volumen. Para ello es necesario utilizar una sonda de presión exterior ya existente, que aporta la información necesaria para saber la profundidad del vehículo.

La realización de dicho cambio, supone extraer el sistema actual y sustituirlo por uno nuevo. En el proyecto se justifica y realizan los cálculos necesarios que corroboran las mejoras del sistema planteado.

Se realiza una selección de materiales para su implementación planteando su construcción, adaptando el programa de simulación existente a los requisitos y limitaciones de estos y se prevé el comportamiento que tendrá el vehículo aplicándolo en simulaciones, comparando los resultados obtenidos con datos de pruebas realizadas anteriormente en su utilización actuando como un perfilador vertical.

Se construye y se pone en práctica, los conceptos teóricos demostrados, mediante un prototipo que simula el vehículo, pudiendo variar su flotabilidad, por cambio de volumen, desde la superficie.

Los resultados obtenidos demuestran la viabilidad del nuevo sistema para su futura implementación en el Guanay II.

Abstract

The Guanay II [1] [2] [4] [9] [10] [17] [42] [43] [44] is an autonomous underwater vehicle developed by the Remote Acquisition Systems and Information Processing (SARTI) of the Polytechnic University of Catalonia (UPC). This vehicle is in permanent development, with continuous improvements and modifications.

To make the dives, its buoyancy system is able to control the weight variations of the set at will.

Following studies and applications already developed in other vehicles [7] [8], this project proposes the implementation and replacement of this system with another that performs this control through a gradual change in volume. For this, it is necessary to use an existing external pressure probe, which provides the necessary information to know the depth of the vehicle.

The realization of this change involves removing the current system and replacing it with a new one. The project justifies and performs the necessary calculations that corroborate the improvements of the proposed system.

A selection of materials is made for its implementation considering its construction, adapting the existing simulation program to the requirements and limitations of these and the behavior that the vehicle will have applied in simulations, comparing the results obtained with data from tests previously performed in its use acting as a vertical profiler.

The theoretical concepts demonstrated are constructed and put into practice, by means of a prototype that simulates the vehicle, and its buoyancy can vary, due to volume change, from the surface.

The results obtained demonstrate the viability of the new system for its future implementation in Guanay II.

Agradecimientos

Agradezco el apoyo y colaboración al equipo SARTI de la UPC por su colaboración y contribución en este proyecto sin cuya colaboración no hubiese sido posible su realización, en especial a Spartacus Gomariz e Ivan Masmitja.

Índice

RESUM	2
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
AGRADECIMIENTOS	5
1. ÍNDICE DE ILUSTRACIONES Y ECUACIONES	9
1.1. Ilustraciones	9
1.2. Ecuaciones	15
2. PREFACIO	16
2.1. Origen del trabajo	16
2.2. Motivación	16
2.3. Requerimientos Previos	17
2.4. Objetivo	17
3. INTRODUCCIÓN	18
4. VEHÍCULOS AUTÓNOMOS SUBMARINOS	21
4.1. Principales indicadores del mar	21
4.1.1. La salinidad	21
4.1.2. La temperatura	23
4.1.3. La densidad	26
4.1.4. Interrelación densidad, salinidad y temperatura	28
4.1.5. La presión	28
4.2. Justificación. Búsqueda y estudio oceanográfico.	29
4.2.1. Estudio del lecho marino	30
4.2.2. Estudio de zonas costeras	31
4.2.3. Estudio de las corrientes marinas	32
4.2.4. Estudio de la vida marina	33
4.3. Sistemas de obtención de datos	34
4.4. Vehículos no tripulados	38
4.5. Guanay II	39
4.5.1. Control y movimiento del vehículo	41



4.5.2.	Mejora para del vehículo.....	42
4.6.	Solución propuesta	43
4.6.1.	Base teórica de la solución propuesta.	43
4.6.2.	Propuesta.....	46
4.6.3.	Especificaciones relevantes del GUANAY II para adaptar la solución propuesta	48
4.6.4.	Mejoras de la solución propuesta.....	51
5.	DISEÑO. _____	55
5.1.	Esquema del montaje propuesto	57
6.	MODELO SISTEMA DE CONTROL. _____	59
6.1.	Ecuaciones de las simulaciones	59
6.1.1.	Estudio de la flotabilidad y el punto de equilibrio	60
6.2.	Regulación PID	68
7.	COMPONENTES _____	70
7.1.1.	Restricciones en la búsqueda de material y criterios de selección de los componentes.....	70
7.1.2.	Limitaciones según componentes elegidos	72
7.1.3.	Fiabilidad de las simulaciones	77
8.	MONTAJE Y MATERIALES _____	79
8.1.1.	Planteamiento y colocación de componentes seleccionados.....	79
8.2.	Diagrama eléctrico.....	81
9.	PRUEBAS EXPERIMENTALES _____	82
9.1.1.	Esquema eléctrico	83
9.1.2.	Construcción y planteamiento	85
9.1.3.	Puesta en marcha.....	86
9.1.4.	Prueba estanqueidad	88
9.1.5.	Colocación dentro del recipiente y búsqueda del punto de equilibrio.	89
9.1.6.	Conclusión de las pruebas.....	91
10.	ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL _____	93
11.	VALORACIÓN DE RIESGO. _____	95
11.1.	Contaminación acústica.....	95
11.2.	Vertido sustancias al mar.....	96
	CONCLUSIONES _____	99

PRESUPUESTO	100
Presupuesto del material utilizado para el prototipo.....	101
BIBLIOGRAFÍA	103



1. Índice de ilustraciones y ecuaciones

1.1. Ilustraciones

- Figura 1** Distribución de la salinidad superficial del Océano Pacífico, frente a la costa sur del Perú y norte de Chile(modificado de World Ocean Atlas 1998) [18] _____ 21
- Figura 2** Distribución de la salinidad en profundidad (0 a 1000 metros), en un corte perpendicular a la costa de Chile, a lo largo de los 27°S (proximidad de Caldera) [18]_____ 22
- Figura 3** El mapa muestra como la salinidad cambia mínimamente de 32 ppt (3,2%) a 40 ppt. (4%). Se descarta el Mar Muerto con 240 ppt. (24%) [23] _____ 23
- Figura 4** Muestra la variación de temperatura en corte vertical hasta los 1000 metros de profundidad en la latitud del ecuador en Enero de 2019 [20] _____ 24
- Figura 5** Muestra la temperatura media en los primeros 300 metros de profundidad en Enero de 2019 [19] _____ 24
- Figura 6** Se compara la temperatura del agua de mar en el meridiano del ecuador según la época del año según la profundidad, línea en negro. Verano (Summer) e Invierno (Winter). Se aprecia la franja termoclina, donde se produce la mayor variación de temperatura. Esta se desplaza según sea la temperatura exterior. En los gráficos se expresa la profundidad (m) y la temperatura del agua de mar(C) _____ 25
- Figura 7** Detalle de la composición del agua de mar a una salinidad de 3,5%, que influye directamente en su densidad. [31] _____ 27
- Figura 8** La relación entre temperatura salinidad y densidad la vemos expresada en las líneas azules que nos muestran una densidad constante. En los distintos colores distinguimos los océanos más importantes de la tierra a una profundidad de 200 m. Podemos extraer que el Océano Pacífico es el menos denso, el Antártico aun siendo el más frío no supera al Atlántico en densidad ni en volumen [31]. _____ 28
- Figura 9** Esquema de funcionamiento de una ecosonda [16] _____ 30
- Figura 10** Lecho marino obtenido con QTC Multiview. Los materiales identificados son respectivamente, cantos rodados, arena media, arena fina, barro y roca.[16] _____ 31

Figura 11 Se aprecia la corriente de resaca, <i>RipCurrent</i> en la ausencia de arena en el lecho marino, <i>SandBar</i> , cuando las olas inciden en la costa, <i>Waves</i> .	33
Figura 12 Representación del ciclo de vida dentro del mar, con Fitoplancton → Zooplancton → Zooplancton depredador → Alimentadores de filtro y peces depredadores → Mamíferos marinos y humanos [22]	34
Figura 13 Esquema de funcionamiento de un perfilador de deriva autónomo [21]	36
Figura 14 Mapa donde se muestra la localización de la infraestructura de plataformas lagrangianas de SOCIB, con perfiladores ARGO y boyas de deriva [21]	37
Figura 15 Muestra el funcionamiento de la boya de deriva superficial utilizada por las plataformas Lagrangianas [21]	37
Figura 16 Clasificación de los vehículos submarinos no tripulados [15]	39
Figura 17 Representación de la exploración vertical efectuada por el vehículo Guanay II. Inicialmente navega por la superficie hasta un punto, tras lo cual realiza una exploración vertical. El ciclo se va repitiendo tras regresar a la superficie, donde transmite los datos obtenidos y obtiene el nuevo destino [2]	39
Figura 18 Diagrama estructural del AUV Guanay II Figura 2.15 [1]. Esquemática del vehículo con sus componentes principales. Los tres inferiores corresponderían a ubicarse dentro del cilindro.	40
Figura 19 Representación extraída de la tesis[1] Figura 7.1 de la misma, donde se puede apreciar los diferentes grados de libertad del Guanay II.	41
Figura 20 Representación extraída de la tesis[1] Figura 2.14 de la misma, donde se puede apreciar el sistema de comunicación y control del Guanay II, así mismo se observa la posición de las antenas en la parte superior del vehículo y los propulsores.	42
Figura 21 Densidad en la Cuenca Canadiense a una temperatura potencial de -1°C y salinidad 33.5ppt [24]	45
Figura 22 Densidad en el punto de solidificación del agua pura [25]	45
Figura 23 Representación de la diferencia de densidades entre el recuadro azul izquierdo y el derecho.	46

Figura 24 Representación modificada extraída de la tesis [1] Figura 6.1 del Guanay II. Se puede observar en verde lo comprendido por el nuevo sistema hidráulico y su localización en el submarino.	47
Figura 25 Esquema del sistema de inmersión actual del Guanay II, figura 8.21 [1]	48
Figura 26 Figura y Dimensiones del pistón de doble efecto modelo CRDNG-100-200-PPV-A de Festo [29] recopilados de la ficha técnica	49
Figura 27 Dimensiones del motor y actuador lineal ATL 08 de Servomech usado en el sistema de inmersión para un recorrido de 200mm .[32]	50
Figura 28 Extracto de especificaciones de sensor MLO-POT 2000-TLF de Festo.[33]	50
Figura 29 Resultado de la prueba realizada con el pistón en la cámara hiperbárica [4], en azul se representa el funcionamiento del pistón al aire, en rojo, trabajando con agua.	52
Figura 30 Representando el cubo, el cilindro estanco interior del submarino, llegamos al mismo diferencial de presión de 10 bares en ambas figuras. La figura de la derecha con un vaso de expansión cargado a 4 bares a una presión exterior de 14 bares y la de la izquierda a 11 bares con una bolsa interior tipo acordeón.	53
Figura 31 Tabla 4.3 extraída del documento[10] que nos expresa las limitaciones de profundidad de cada componente del submarino. Actualmente la capacidad del cilindro limita a 40 metros, el precedente, <i>Foams</i> , son las espumas de relleno que limitarían al vehículo con el nuevo sistema propuesto.	54
Figura 32 Ejemplo de comprensión esquemático del funcionamiento del sistema de inmersión propuesto. Bomba bidireccional, aceite utilizado como medio de transmisión de presión [8]	55
Figura 33 Diagrama extraído del prototipo montado en el SOTAB-1 donde se verifico satisfactoriamente en el mar Tobaya Bay Japon [34]	56
Figura 34 Sistema de ajuste de inmersión utilizado en un Glider. Bomba mono direccional. Como medio de transferencia se utiliza aceite y para el control, un sensor de presión de aire. [35]	56
Figura 35 Montaje realizado utilizando como medio de transmisión un gas, para el estudio de la relación entre presión temperatura y volumen.[35]	57
Figura 36 Esquema propuesto para el vehículo Guanay II como prototipo de sistema de inmersión.	58

- Figura 37** Muestra de una parte de las variables nuevas insertadas dentro del programa de simulación para realizar las modificaciones deseadas [1] _____ 60
- Figura 38** Ecuaciones de la simulación original aportada[1] Las primeras expresan los estados de la variable peso a cada ciclo de programa. Así mismo se expresan las ecuaciones de equilibrio donde “desidad” es la densidad del agua de mar, “peso” la variación de peso que sufre el pistón al llenarse y “ext” de valor constante 0. _____ 61
- Figura 39** Expresiones recuperadas del apartado 4.6.1 de este documento. Representan la Expresión(7-25) de la tesis del Sr. Galarza [1] donde se recoge la expresión de fuerza peso del vehículo donde m es la masa total y g la fuerza de gravedad y la expresión(7-25) de la tesis del Sr. Galarza [1] donde se recoge la expresión de fuerza de flotabilidad del vehículo Se expresa la multiplicación de la densidad del agua de mar, gravedad y volumen del agua desalojada _____ 62
- Figura 40** Muestra extraída del programa Matlab de las ecuaciones utilizadas en la simulación para el equilibrio de flotabilidad aplicando el principio de Arquímedes (Apartado 4.6.1 de este documento) _____ 62
- Figura 41** Expresión en MatLab de parte de la modificación realizada en la simulación. Momento de vaciado de la bolsa exterior según el flujo de la bomba. _____ 63
- Figura 42** Resultado de la variación de la densidad del aceite utilizado para una capacidad total de 2 litros con respecto al conjunto total. Eje vertical fuerza peso. [$\text{kg}\cdot\text{m} / \text{s}^2$] Eje horizontal Densidad [kg/m^3] _____ 64
- Figura 43** Extracto del programa para realizar una gráfica comparativa entre la bolsa exterior y la fuerza ascensional. Los valores se van guardando en tB y tvb para cada tiempo de t equivalente a 5 cl de fluido. _____ 65
- Figura 44** Relación entre la fuerza ascensional expresada en $\text{kg}\cdot\text{m} / \text{s}^2$ con respecto al llenado de la bolsa exterior expresada en m^3 _____ 65
- Figura 45** Comparación de la diferencia existente entre las fuerzas verticales dependiendo del estado de la bolsa exterior según la densidad de aceite utilizado. En azul la bolsa llena de 2 litros de capacidad y en rojo vacía. Se remarca el resultado mediante la ayuda de una línea negra vertical a una densidad determinada. _____ 67
- Figura 46** Sistema típico para el control con PID mediante el sistema de flotabilidad. _____ 69
- Figura 47** Características principales del motor MGD1000P de Micropumps[9] _____ 71

- Figura 48** Relación volumen presión de la bomba del sistema hidráulico [9] _____ 72
- Figura 49** Ejemplo de adaptación del programa de simulación a las características del material. En este caso, se hace trabajar a la bomba sobre la recta máxima de funcionamiento y suponiendo el máximo rendimiento posible. _____ 73
- Figura 50** Volumen de la bolsa exterior expresado en litros con respecto el tiempo, segundos. Queda reflejado el punto donde la bomba por sus características deja de bombear por exceso de presión. _____ 74
- Figura 51** Profundidad adquirida por el vehículo expresado en metros con respecto el tiempo en segundos. Se muestra el punto en donde la bomba deja de funcionar por el exceso de presión. _____ 75
- Figura 52** Resultado de la simulación en su inmersión vertical del flujo de la bomba. Eje horizontal en segundos y vertical en ml/s. Se aprecian las dos curvas de trabajo de la bomba a las presiones marcadas por los puntos anteriormente extraídos de las especificaciones. _____ 76
- Figura 53** Resultado de la simulación en inmersión vertical. Eje horizontal en metros y vertical en volumen expresado en litros. Se aprecia el ciclo de llenado y vaciado de la bolsa exterior y se remarca con un círculo rojo el punto donde la bomba deja de trabajar. _____ 77
- Figura 54** Imágenes superpuestas. Resultado comparativo entre la simulación realizada con el nuevo sistema (línea azul) y datos reales recogidos en una prueba anterior (línea multicolor) Expresado como eje vertical en metros y eje horizontal en segundos [2] _____ 78
- Figura 55** Esquema de la colocación de los componentes seleccionados, cada uno de ellos con su nombre, medida del conexión y numero de referencia a tabla de características que facilita la comprensión del montaje y el control del tipo de conexionado. _____ 80
- Figura 56** Diagrama de conexionado del sistema propuesto. Dispone de dos alimentaciones en continua distintas ya disponibles en el vehículo. El motor está controlado por el EQi. Este controlador es aportado por el fabricante del motor. _____ 81
- Figura 57** Se aprovecha este diseño estudiado anteriormente (Figura 34 de este documento) ya que se adapta a las características del material disponible. _____ 82
- Figura 58** Extracto de las especificaciones del sensor de presión comprado [35]. _____ 83
- Figura 59** Esquema eléctrico planteado para el control del sistema de flotabilidad controlado mediante un microcontrolador de dos salidas digitales y una entrada analógica. El uso de transistores es

opcional. Se incluyen en caso que las salidas del controlador sean de poca potencia para el gobierno de los relés. _____ 84

Figura 60 Detalle de la conexión a la electroválvula. Se aprecian los refuerzos para aguantar la presión adquirida por el sistema. _____ 85

Figura 62 Detalle de la conexión a la electroválvula. Debido a la complejidad por los diferentes diámetros de conexión se ha reforzado el interior del tubo interior con un tubo de cobre de 16 mm2 asegurando el paso por el conducto y la integridad de la conexión con una brida metálica. _____ 86

Figura 63 Ampliación del detalle del tornillo para el cebado del sistema. En este caso pertenece a un radiador de una vivienda. Se aprecia en el lateral el punto por donde sale el aire y el tornillo de regulación en la parte superior. _____ 87

Figura 61 Prototipo construido. Cebado y con la bolsa exterior vacía. _____ 87

Figura 64 Tapa del recipiente que simula el vehículo sumergible tras realizar la prueba de estanqueidad. Los conductos que se observan son para agua, aire y electricidad. _____ 89

Figura 65 Se aprecian los componentes dentro del cubo que simula el vehículo de inmersión. Se cuida en la colocación que los componentes eléctricos estén alejados de la base. _____ 90

Figura 66 Conjunto tras las pruebas realizadas con éxito. En la parte inferior podemos ver el cubo que hace de peso muerto para contrarrestar el aire del cubo azul. _____ 91

Figura 67 Extracto de la legislación autonómica a seguir en Catalunya con referencia al impacto ambiental [36] _____ 94

Figura 68 Rango de frecuencias de barcos y ecosondas a los que son sensibles los cetáceos con barbas (misticetos) y dientes (odontocetos) [37] _____ 95

Figura 69 Resultado extraído del programa MORA[38] para la recuperación y tratamiento de un vertido de una sustancia de 2 l, inorgánica no biodegradable en el mar. _____ 97

Figura 70 En la tabla siguiente se aprecian los componentes utilizados especificando el distribuidor, número de piezas compradas por requerimiento del proveedor, número de piezas utilizadas en el prototipo, una breve descripción y el precio total de cada producto. _____ 101

Figura 71 Se expresa el coste total desglosando los conceptos principales. _____ 102

Figura 72 Parte del presupuesto que engloba al personal y alquiler a terceros de material. ____ 102

1.2. Ecuaciones

(Ec) 1	29
(Ec) 2	44
(Ec) 3	44
(Ec) 4	44
(Ec) 5	44
(Ec) 6	44
(Ec)7	45

2. Prefacio

El desarrollo tecnológico de los últimos tiempos permite el desarrollo de nuevas herramientas para la investigación llevada a cabo por Universidades. Es un hecho posible gracias al abaratamiento de los costes de desarrollo, fabricación y distribución, así como la formación, interés y dedicación de las personas que lo hacen posible.

2.1. Origen del trabajo

La Universidad Politécnica de Catalunya a través de su equipo SARTI, Sistemas de Adquisición Remota y Tratamiento de la Información, hicieron posible la construcción de un vehículo submarino no tripulado, Guany II.

Con él se motiva, investiga y perfecciona los aspectos que hacen posible su funcionamiento. Entre estos aspectos nos encontramos, los sistemas de navegación, instrumentación para las distintas investigaciones, radiofrecuencia y sistemas de comunicación y , consumo y eficiencia energética.

El vehículo se ha ido desarrollando y perfeccionando [1][2][4][9][10][17][42][43] y [44] desde su origen. Comenzó el desarrollo con la idea de navegar por zonas cercanas a la costa, y realizar inmersiones en puntos específicos, posteriormente se fue perfeccionando su sistema de navegación horizontal, dotándolo además de un sistema de detección de obstáculos, inclusión de nueva instrumentación y adaptabilidad en su navegación gracias a la graduación y regulación de sus propulsores.

2.2. Motivación

El vehículo autónomo submarino Guanay II, realiza estudios en medios marinos. Para sumergirse, realiza un cambio de flotabilidad mediante un mecanismo que le permite cambiar el peso del conjunto. Este sistema consume importantes puntas de corriente y requiere de un mantenimiento elaborado tras llevar al vehículo a tierra firme.

Se han realizado estudios que se han implementado con éxito en otros vehículos [7][8] de otro tipo de sistema de inmersión, que resulta más eficiente y corrige los problemas mencionados anteriormente. Este sistema se basa en el cambio de volumen del conjunto mediante una bolsa exterior.

La motivación de este proyecto es estudiar y aplicar este nuevo sistema en el Guanay II.

2.3. Requerimientos Previos

Para la realización, nos basaremos principalmente en las aportaciones de las tesis del Dr. Galarza[1] y Dr. Agudelo[17] que incluyen un archivo de simulación creado con el programa Matlab, que desarrolla y simula el comportamiento dinámico del vehículo.

La información aportada en estas tesis serán la base para la realización de los cálculos, así como otros datos obtenidos en trabajos realizados anteriormente durante el desarrollo de este vehículo.

Seguiremos así mismo los estudios realizados con éxito de la implementación del nuevo sistema en otros vehículos [7][8].

La contribución para la construcción y desarrollo del prototipo del sistema de inmersión, se realiza a través del grupo de investigación SARTI.

2.4. Objetivo

Cambiar sistema de flotabilidad del Guanay II por uno más eficiente, económico, pequeño, de fácil mantenimiento. Para ello se realizarán las pruebas en cámara hiperbárica por aire y agua. Adaptando el sistema de alimentación. Puesta en marcha del vehículo y Primeras pruebas.

3. Introducció

Hace 3500 millones de años se formó la vida que conocemos. El punto de origen fue el mar.

Su extensión, abarca la mayoría de la superficie terrestre y el conocimiento que tenemos del mismo apenas llega a una veintava parte.

El ecosistema que contiene se encuentra en un frágil equilibrio. Es un eslabón imprescindible de la diversidad que hace posible la continuación de vida, participando así mismo, en un gran número de ciclos, como el del agua, oxígeno, hidrógeno y muchos otros, necesarios para la regeneración y desarrollo de la vida en la tierra.

Este ecosistema es un claro reflejo del estado de salud de nuestro planeta. Es por ello que los estudios de este medio son de gran interés.

Las limitaciones a la hora de adquirir y tratar la información, fue superada con la llegada de la tecnología electrónica.

Teniendo en cuenta la complejidad y la multitud de factores que están interrelacionados dentro de este medio, gracias a ella, es posible adquirir y procesar un gran volumen de información de un punto concreto, lo que supone un acercamiento al entendimiento del conjunto. Además, hace posible la comparación entre dos instantes de tiempo a distancias muy cortas, pudiendo analizar su evolución. Por último, cabe destacar, que permite ampliar la zona de estudio, pudiendo sacar conclusiones de un área concreta. Las capacidades de proceso de todos estos datos obtenidos generan nuevas maneras de entender nuestro entorno.

La evolución, que permite recopilar y tratar la información, se ha ido especializado a las necesidades de exploración y adaptándose a los retos que esta le presentaba. A principios del siglo pasado, tras la revolución industrial, se realizaba por medio de barcos creados y equipados para este fin. Estos vehículos oceanográficos, usados aun en la actualidad, permitían movilidad por la superficie y el estudio de zonas concretas, cargados con boyas de exploración, adquirirían datos de puntos concretos pudiendo hacer un seguimiento de la evolución durante más tiempo.

La revolución de la exploración espacial, dio un nuevo enfoque a la manera como entendíamos al mar. Equipados con potentes cámaras e instrumentación, se empezó a realizar estudios de grandes áreas, comprendiendo las influencias que existen entre ellas. Esto complementaba los estudios realizados desde superficie. El uso combinado de ellos aportaba un mayor entendimiento. Por un lado, un análisis detallado de los puntos concretos, por otro, una visión global que los abarcaba y organizaba.

Aun que existía interés y dedicación, la exploración resultaba compleja y costosa. La organización, infraestructura, equipamiento, instrumentación, mantenimiento y personal necesario, suponían la necesidad de grandes recursos para unos estudios, los cuales, tardaban en dar sus frutos.

Por el interés militar, en los años 50, se empezaron a desarrollar dispositivos programables subacuáticos. Los CURV, *Cable-controlled Undersea Recovery Vehicle*, ganaron fama rápidamente tras recuperar la bomba de hidrogeno perdida en 1966 y ayudar en el rescate de los tripulantes de un submarino. Esto, ocasiono un desarrollo sin precedentes en este tipo de tecnologías [39], que se veían con aplicaciones ilimitadas.

Aparecieron los ROV, *Remote Operated Vehicle*, controlados por un operador que no se encontraba dentro del mismo, lo que permitía realizar inmersiones sin riesgo para el operador, los AUV, *Autonomous Underwater Vehicle*, que no necesitan un controlador para su navegación y los AUV Glider, que no disponen de propulsión mecánica para el avance.

Este tipo de vehículos presentaban gran robustez y fiabilidad permitiendo alcanzar grandes profundidades, llegando a en la actualidad a los 10902 metros logrados con el ROV Kaiko[40].

En la actualidad, podemos encontrar gran diversidad de vehículos comerciales de este tipo, con aplicaciones muy diversas como las exploraciones en busca de petróleo o la reparación de infraestructuras de telecomunicación oceánicas.

Los ROV, controlados mediante un cable que permite su abastecimiento de energía, pueden ser dirigidos por un barco desde la superficie durante un tiempo prolongado, para la exploración de áreas delimitadas., Incluyendo instrumentación y articulaciones móviles, pueden realizar operaciones de reparación y montaje, así como la posibilidad de extracción de muestras.

Los AUV, prescinden del cable de energía y comunicación, lo que hace que su autonomía sea finita. Este tipo de vehículos pueden abarcar áreas más grandes al no ser dependientes de este. Su uso más extensivo es militar. Igualmente permite el estudio científico, al poder realizar estudios del fondo marino mediante batimetrías, así como estudios de las características físico-químicas del agua.

El estudio de la biodiversidad y el comportamiento de las especies en el medio marino adquiere cada vez más interés. Las características y propiedades del agua repercuten en el comportamiento y desarrollo de las especies marinas.

Las características principales que definen el agua marina varían según la profundidad. Es pues de interés, el estudio de estas variaciones según dicha profundidad.

La obtención de estos datos, se realiza mediante un perfil vertical. Los vehículos, cuando realizan dicha recopilación, deben hacerlo respetando al máximo las condiciones del entorno para no enturbiar los resultados obtenidos, es por ello, que el uso de propulsores durante el proceso no es recomendable.

Existen vehículos AUV como el Tethys [41] que disponen de un sistema de inmersión por cambio de flotabilidad, que reduce las perturbaciones y resulta muy eficiente a la hora de realizar este tipo de estudios.

Dentro de este grupo de vehículos nos encontramos con el Guanay II desarrollado por SARTI de la Universidad Politécnica de Catalunya[1]. Este es capaz de desplazarse por la superficie hasta un punto determinado tras lo cual puede realizar un perfil vertical.



4. Vehículos autónomos submarinos

El mar es uno de los medios fundamentales y más extensos del planeta. Conocer su estado y evolución resulta de vital importancia para su conservación.

Para la obtención de información del medio marino los vehículos autónomos son de gran utilidad. Antes de profundizar en este tipo de vehículos es necesario conocer las características principales del medio donde operara, para así poder concretar qué características son las más relevantes del vehículo, la utilidad que pueden llegar a tener y como llegar a obtener los resultados deseados.

4.1. Principales indicadores del mar

Antes de adentrarnos en el medio marino con un vehículo, hay que conocer dicho medio. El mar tiene cuatro indicadores básicos que lo definen, sin tener en cuenta el gran ecosistema que vive en él. Conocer sus límites y funcionamiento resulta imprescindible para poder adentrarse en él.

4.1.1. La salinidad

Como salinidad entendemos que es la masa en gramos en sal disuelta en un kilo de agua de mar.

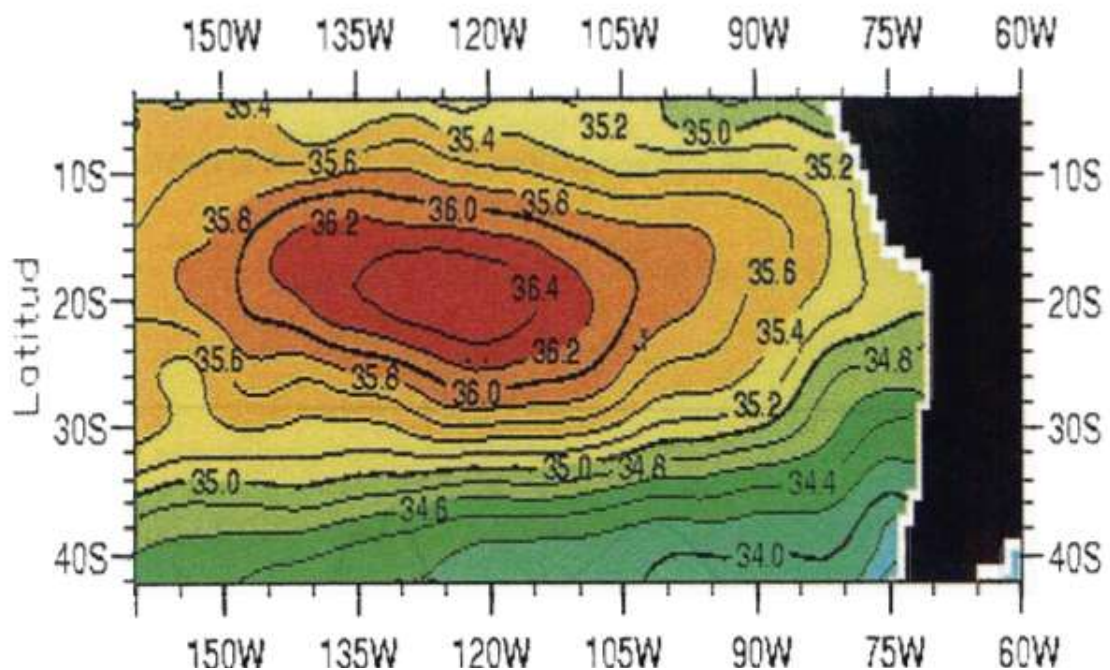


Figura 1 Distribución de la salinidad superficial del Océano Pacífico, frente a la costa sur del Perú y norte de Chile(modificado de World Ocean Atlas 1998) [18]

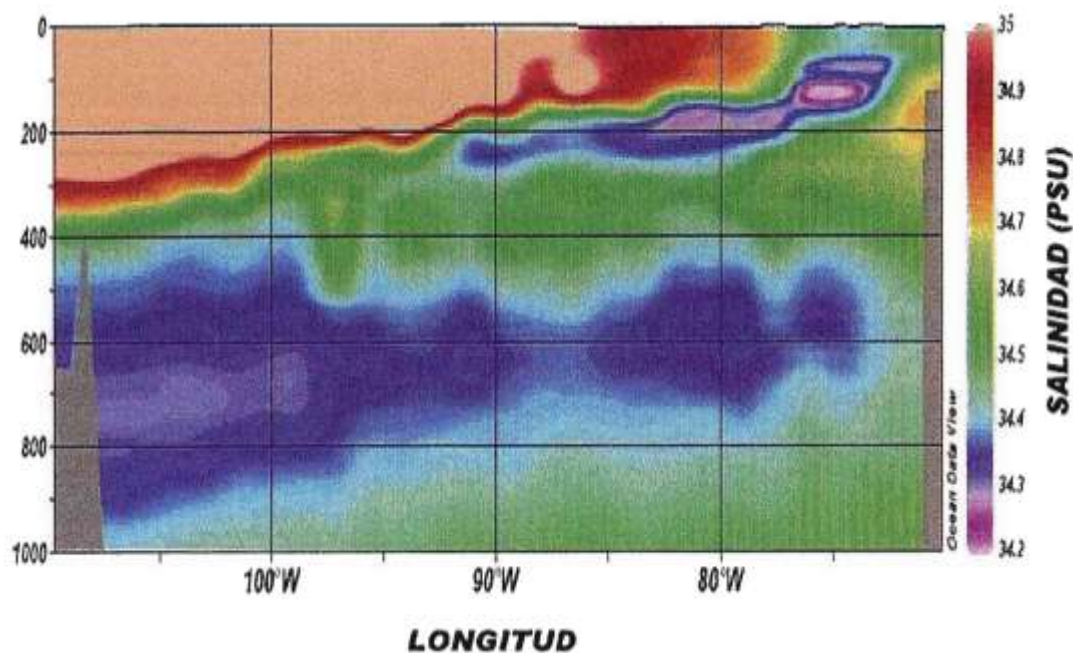


Figura 2 Distribución de la salinidad en profundidad (0 a 1000 metros), en un corte perpendicular a la costa de Chile, a lo largo de los 27°S (proximidad de Caldera) [18]

En **Figura 1** y **Figura 2** se representan las variaciones de salinidad por la superficie y según profundidad, en ambos casos podemos observar que la variación no es mayor de 4 gramos o partes por mil (ppt o ‰ “*part per thousand*”) en agua salada o también expresado en unidades salinas prácticas (PSS o PSU “*practical salinity unit*”), donde existe en la práctica una equivalencia numérica entre ellas.

A nivel mundial **Figura 3** nos encontramos como la salinidad más baja se encuentra en las zonas más frías durante la época del deshielo, verano, por el contrario, los más salados se hayan en los océanos desérticos o continentales, que por causa de los aires fríos y de poca humedad que descienden y se calientan, evaporan el agua del mar, creando pocas precipitaciones. El mar Rojo al encontrarse

totalmente cerrado y rodeado de desiertos es del de salinidad más alta con 40 ppt, el Mar Mediterráneo aun estando abierto en el estrecho de Gibraltar tiene 38 ppt. [23]

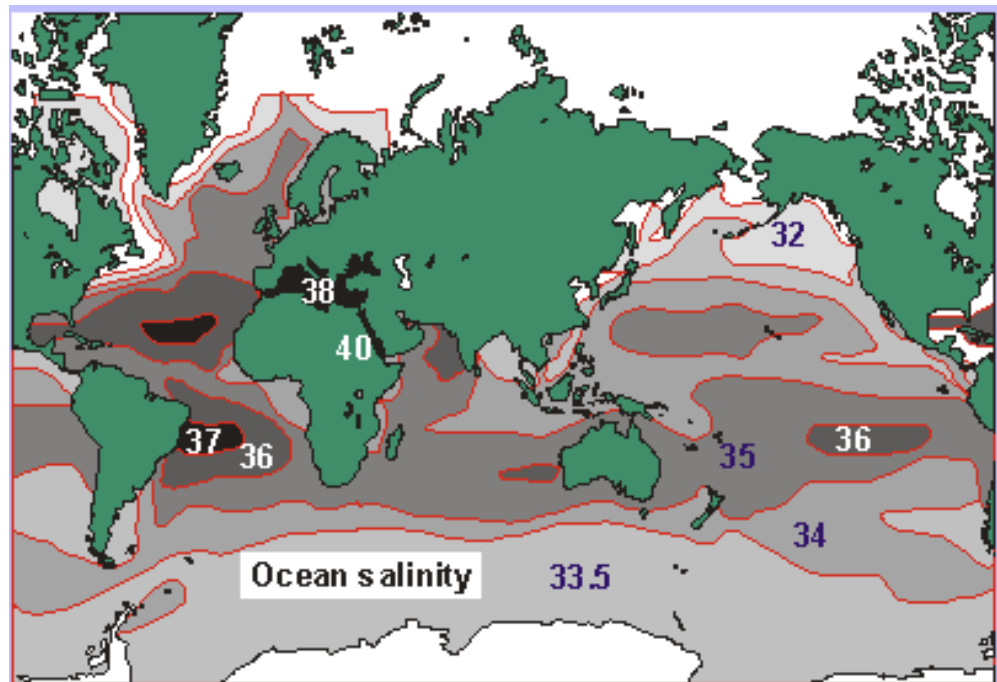


Figura 3 El mapa muestra como la salinidad cambia mínimamente de 32 ppt (3,2%) a 40 ppt. (4%). Se descarta el Mar Muerto con 240 ppt. (24%) [23]

4.1.2. La temperatura

La temperatura del mar va variando según la posición en la que nos encontremos. A medida que vamos descendiendo también varía. Como podemos observar en las ilustraciones siguientes estas variaciones no oscilan más de diez grados centígrados en todo el planeta.

En la **Figura 4**, podemos observar la temperatura media de los primeros 300 metros de profundidad de toda la superficie marina del planeta, así como su variación en un corte vertical **Figura 5**, a lo largo de la longitud en el ecuador. Con lo que respecta a los vehículos autónomos submarinos esta variación no resulta significativa para su diseño a profundidades de unos pocos cientos de metros.

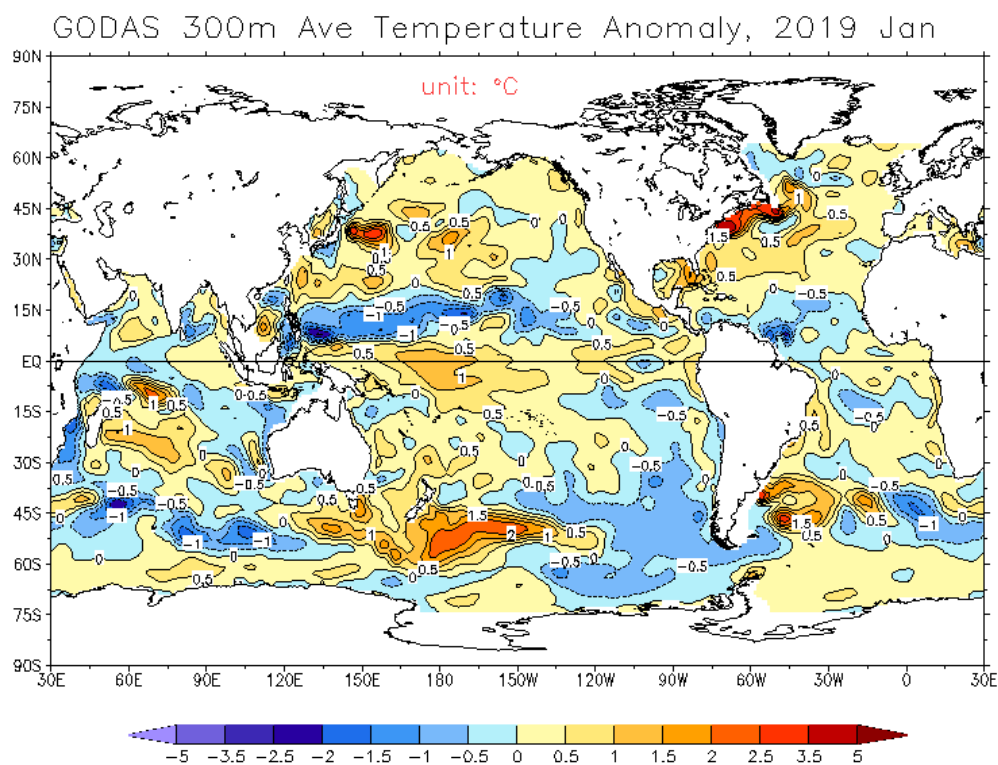


Figura 4 Muestra la variación de temperatura en corte vertical hasta los 1000 metros de profundidad en la latitud del ecuador en Enero de 2019 [20]

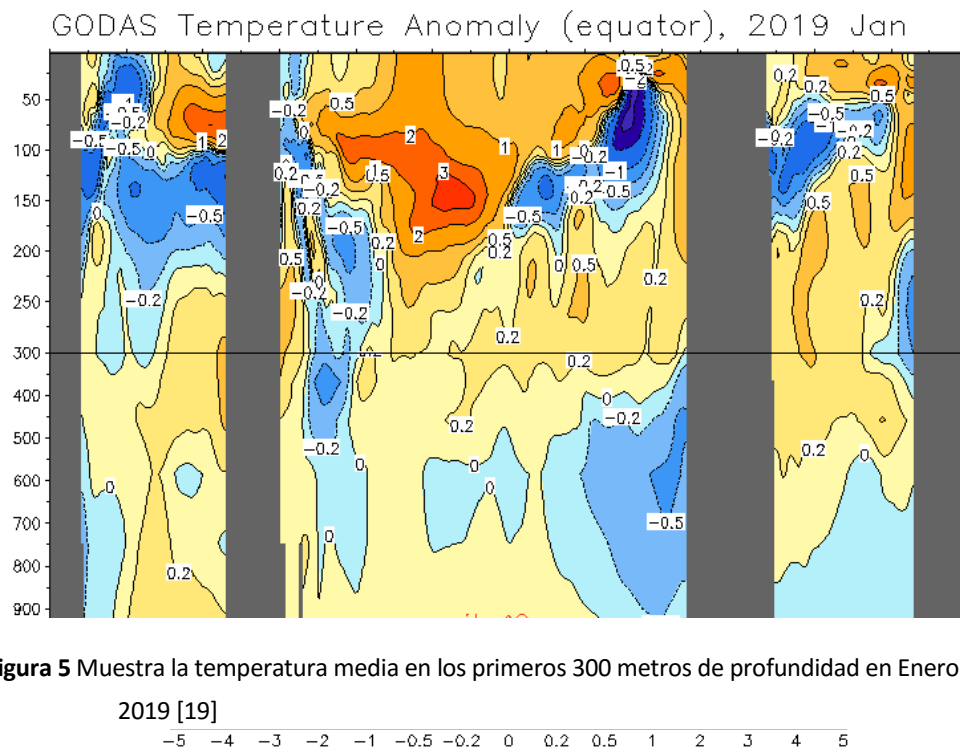


Figura 5 Muestra la temperatura media en los primeros 300 metros de profundidad en Enero de 2019 [19]

A medida que descendemos, la temperatura del agua del mar también desciende, pero no lo hace de forma lineal. Dependiendo de la época del año en la que nos encontremos el efecto del sol varia sobre la superficie del agua.

En verano la diferencia es muy alta con lo que el descenso **Figura 6** sucede antes de los primeros 50 metros, en cambio en invierno, al haber una diferencia pequeña con el exterior, este salto térmico lo encontramos pasados los 100 metros de profundidad. La zona donde se produce este descenso es conocido por termoclina.

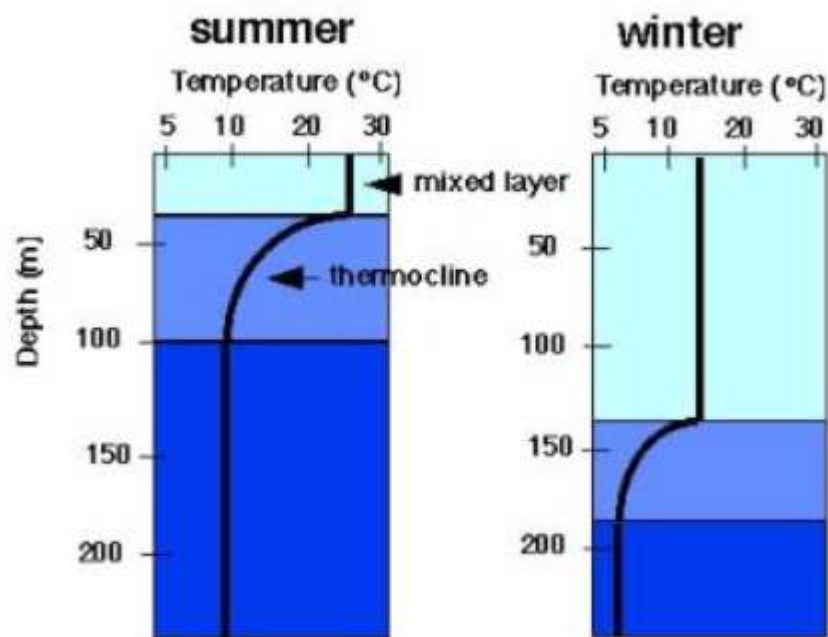


Figura 6 Se compara la temperatura del agua de mar en el meridiano del ecuador según la época del año según la profundidad, línea en negro. Verano (Summer) e Invierno (Winter). Se aprecia la franja termoclina, donde se produce la mayor variación de temperatura. Esta se desplaza según sea la temperatura exterior. En los gráficos se expresa la profundidad (m) y la temperatura del agua de mar(°C)

En **Figura 6** se representa esta diferencia térmica tomada en el meridiano del ecuador

4.1.3. La densidad

Entendemos por densidad del peso contenido en un volumen determinado. También conocido con el nombre de gravedad específica [22].

El agua destilada tiene 1 kilo de sustancia por cada litro de agua a una presión de 1 atmosfera y 4 grados centígrados, podemos decir que no tiene ningún contenido de sal. El mar tiene muchos y muy diversos componentes disueltos en el mismo, a mayor cantidad de componentes mayor será su densidad en ese punto.

Cuando el agua se calienta, esta se expande y su densidad por lo tanto disminuye.

Ya que la temperatura juega un papel importante se utiliza el concepto de salinidad para no tener que ser dependientes de este factor.



El mar está compuesto por multitud de componentes disueltos en el mismo, que afectan a las proporciones de su densidad. Entre otros nos encontramos los mostrados en la tabla siguiente **Figura 7**.

Element	At.weight	ppm	Element	At.weight	ppm
Hydrogen H2O	1.00797	110,000	Molybdenum Mo	0.09594	0.01
Oxygen H2O	15.9994	883,000	Ruthenium Ru	101.07	0.0000007
Sodium NaCl	22.9898	10,800	Rhodium Rh	102.905	.
Chlorine NaCl	35.453	19,400	Palladium Pd	106.4	.
Magnesium Mg	24.312	1,290	Argentum (silver) Ag	107.870	0.00028
Sulfur S	32.064	904	Cadmium Cd	112.4	0.00011
Potassium K	39.102	392	Indium In	114.82	.
Calcium Ca	40.08	411	Stannum (tin) Sn	118.69	0.00081
Bromine Br	79.909	67.3	Antimony Sb	121.75	0.00033
Helium He	4.0026	0.0000072	Tellurium Te	127.6	.
Lithium Li	6.939	0.170	Iodine I	166.904	0.064
Beryllium Be	9.0133	0.0000006	Xenon Xe	131.30	0.000047
Boron B	10.811	4.450	Cesium Cs	132.905	0.0003
Carbon C	12.011	28.0	Barium Ba	137.34	0.021
Nitrogen ion	14.007	15.5	Lanthanum La	138.91	0.0000029
Fluorine F	18.998	13	Cerium Ce	140.12	0.0000012
Neon Ne	20.183	0.00012	Praesodymium Pr	140.907	0.00000064
Aluminium Al	26.982	0.001	Neodymium Nd	144.24	0.0000028
Silicon Si	28.086	2.9	Samarium Sm	150.35	0.00000045
Phosphorus P	30.974	0.088	Europium Eu	151.96	0.0000013
Argon Ar	39.948	0.450	Gadolinium Gd	157.25	0.0000007
Scandium Sc	44.956	<0.000004	Terbium Tb	158.924	0.00000014
Titanium Ti	47.90	0.001	Dysprosium Dy	162.50	0.00000091
Vanadium V	50.942	0.0019	Holmium Ho	164.930	0.00000022
Chromium Cr	51.996	0.0002	Erbium Er	167.26	0.00000087
Manganese Mn	54.938	0.0004	Thulium Tm	168.934	0.00000017
Ferrum (Iron) Fe	55.847	0.0034	Ytterbium Yb	173.04	0.00000082
Cobalt Co	58.933	0.00039	Lutetium Lu	174.97	0.00000015
Nickel Ni	58.71	0.0066	Hafnium Hf	178.49	<0.000008
Copper Cu	63.54	0.0009	Tantalum Ta	180.948	<0.0000025
Zinc Zn	65.37	0.005	Tungsten W	183.85	<0.000001
Gallium Ga	69.72	0.00003	Rhenium Re	186.2	0.0000084
Germanium Ge	72.59	0.00006	Osmium Os	190.2	.
Arsenic As	74.922	0.0026	Iridium Ir	192.2	.
Selenium Se	78.96	0.0009	Platinum Pt	195.09	.
Krypton Kr	83.80	0.00021	Aurum (gold) Au	196.967	0.000011
Rubidium Rb	85.47	0.120	Mercury Hg	200.59	0.00015
Strontium Sr	87.62	8.1	Thallium Tl	204.37	.
Yttrium Y	88.905	0.000013	Lead Pb	207.19	0.00003
Zirconium Zr	91.22	0.000026	Bismuth Bi	208.980	0.00002
Niobium Nb	92.906	0.000015	Thorium Th	232.04	0.0000004
			Uranium U	238.03	0.0033
			Plutonium Pu	(244)	.

Figura 7 Detalle de la composición del agua de mar a una salinidad de 3,5%, que influye directamente en su densidad. [31]

4.1.4. Interrelación densidad, salinidad y temperatura

En el gráfico adjunto **Figura 8**, señalado en un círculo rojo, podemos ver como la salinidad de 35ppt de agua dada a 15 C es 1.0255 kg/l, expresados en forma de miligramos que sobrepasa la unidad como 25.5.

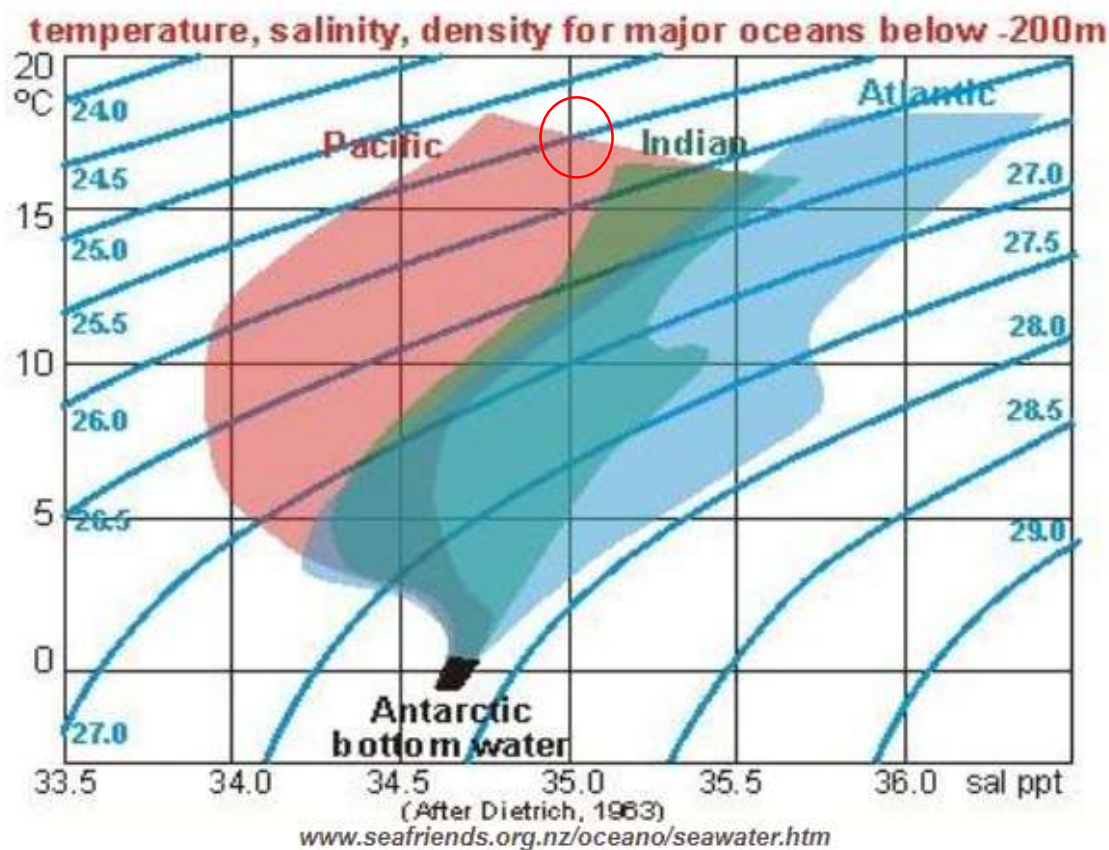


Figura 8 La relación entre temperatura salinidad y densidad la vemos expresada en las líneas azules que nos muestran una densidad constante. En los distintos colores distinguimos los océanos más importantes de la tierra a una profundidad de 200 m. Podemos extraer que el Océano Pacífico es el menos denso, el Antártico aun siendo el más frío no supera al Atlántico en densidad ni en volumen [31].

4.1.5. La presión

Uno de los grandes retos que presenta este medio para los vehículos sumergibles, es la variación de presión a la que se ve sometida el vehículo a medida que va descendiendo.

Teniendo en cuenta que la densidad del agua de mar varia relativamente poco con respecto a la profundidad y viéndose afectada por la salinidad y la diferencia de temperatura del agua, podemos decir que el peso de una columna vertical sobre un punto viene expresado por la expresión:

$$p = p_0 + \rho gh \quad (Ec) 1$$

Donde p equivale a la presión resultante [Pa], p_0 la presión origen y ρgh la densidad [$\frac{kg}{m^3}$], gravedad [$\frac{N}{kg}$] y altura de columna de agua [m] respectivamente.

Podemos redondear el resultado de la ecuación anterior para hacer más fácil la relación entre presión y profundidad, siendo 10 metros de columna de agua el respectivo a un bar o atmósfera de presión.

4.2. Justificación. Búsqueda y estudio oceanográfico.

El estudio e interés del mar es incuestionable. Desde las consecuencias del cambio climático y su repercusión, hasta el desarrollo y descubrimiento de nuevas especies y tecnologías. Los vehículos autónomos submarinos pueden aportarnos los datos que necesitamos para realizarlos. Estos equipados con instrumentación específica, nos permiten realizar estudios como los mencionados a continuación.



4.2.1. Estudio del lecho marino

Una de las operaciones destacadas dentro de la búsqueda oceanográfica es el de las batimetrías, o levantamiento del relieve del fondo marino. Podríamos decir que es el equivalente a las altimetrías en submarinos.

Esta altimetría nos muestra la variación de altitud del fondo marino con respecto al nivel del mar, pudiendo identificar e inspeccionar el fondo oceanográfico. Esto se puede realizar gracias a equipos avanzados y el proceso posterior de sus datos.

En la **Figura 9** podemos ver un ejemplo de un ecosonda. El transductor en este caso hace de transmisor de las ondas sonoras en el medio acuoso y las recoge como receptor, interpretándolas como señales eléctricas para su registro.

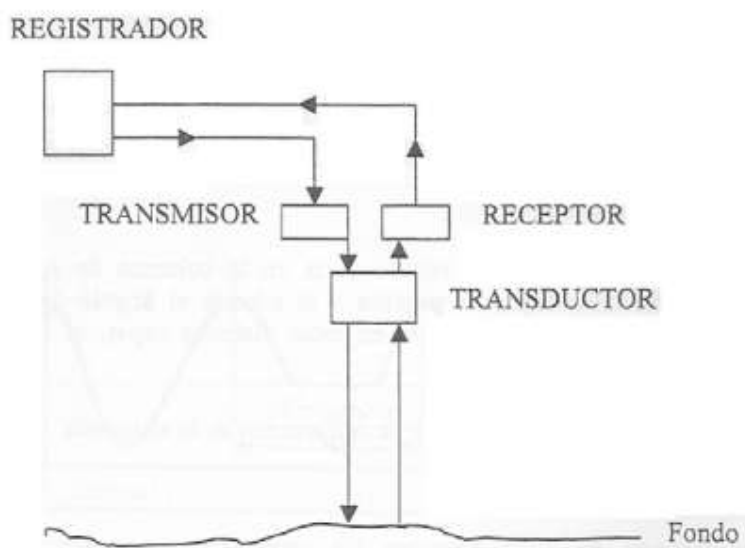


Figura 9 Esquema de funcionamiento de una ecosonda [16]

Tras el estudio con ecosonda, aplicando una metodología determinada, es posible levantar una batimetría del fondo marino. Seguidamente, a través de un software determinado es posible realizar una distinción de los diferentes sedimentos que componen el lecho marino, conocido este proceso con el nombre de caracterización. A partir de ahí se puede estimar que tipo de materiales son los que lo componen.

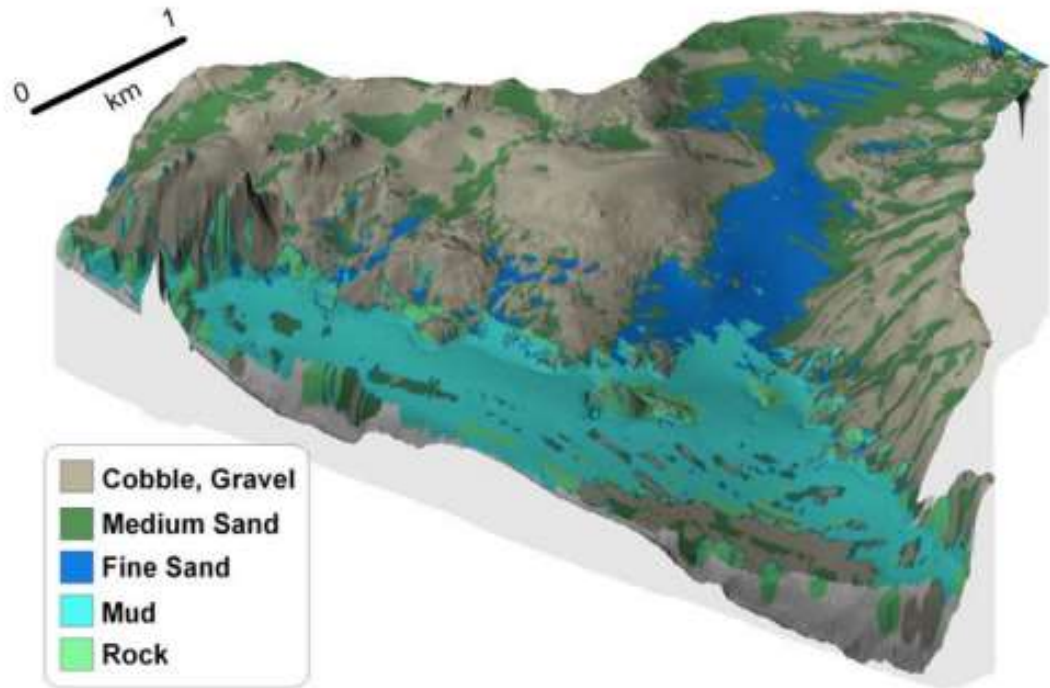


Figura 10 Lecho marino obtenido con QTC Multiview. Los materiales identificados son respectivamente, cantos rodados, arena media, arena fina, barro y roca.[16]

Estos métodos geofísicos, para determinar las características del terreno nos las encontramos con sensores ya creados para este fin como son; el perfilador acústico de subfondo HMS 620 Bubble Gun [26] y el sonar de barrido lateral HMS/1400 Sidescan Sonar al cual acompaña un software para la alta resolución de imágenes.[27].

4.2.2. Estudio de zonas costeras

Los procesos de erosión y sedimentación son los que más afectan a las zonas costeras, es por ello que el estudio de la dinámica litoral resulta fundamental para paliar los efectos que estos ocasionan. Datos sobre el comportamiento del oleaje aporta información de cómo afrontar la erosión ocasionada por las olas en las bases de los acantilados, y buscar la solución óptima para cada caso. La solución de incorporar muros junto a su base para protegerlos, no siempre es la más adecuada, ya que en zonas

donde haya temporales destacables, puede ocasionar el retroceso de las playas al adquirir las olas más fuerza de retroceso tras chocar contra este muro.

4.2.3. Estudio de las corrientes marinas

Uno de los campos más densos de estudio, sería el de las corrientes marinas que influyen en todo el planeta y están vinculadas a múltiples factores. Para entender la envergadura e importancia de su estudio se pueden clasificar según la causa de su movimiento:

Debido a las mareas, cuya velocidad del agua no suele ser muy alta (0.5 m/s), en la línea costera esta velocidad suele aumentar debido a que la profundidad del lecho marino es menor. Este movimiento es debido a las influencias del satélite lunar y a la geometría, composición y movimientos astrofísicos de la propia Tierra.

Por corrientes de densidad. Como ya hemos mencionado anteriormente la densidad del agua de mar no es igual en todos sus puntos, estas diferencias crean un movimiento para buscar un equilibrio. Esto ocurre cuando el agua Antártica fría y densa entra en contacto con el agua subtropical menos densa, esta es desplazada hacia el fondo. Estas velocidades de desplazamiento no superan los cm/s.

El viento, es la causante de las corrientes marinas más fuertes. El flujo superficial que puede causar, también conocido con el nombre de deriva del viento, puede llegar al 2,5% de la velocidad del viento. Este movimiento no se extiende más de unos cientos de metros de profundidad, o Profundidad de Ekman, pero al operar grandes campos de viento en las cuencas oceánicas la cantidad de agua que transporta es muy grande.

Las corrientes de resaca **Figura 11**, ocasionadas por la falta de sedimento en parte de la costa cuando la ola se acerca a esta, ocasiona el retorno repentino del agua por esta apertura de lecho marino ocasionando altas velocidades llegando a 2m/s.



Figura 11 Se aprecia la corriente de resaca, *Rip Current* en la ausencia de arena en el lecho marino, *Sand Bar*, cuando las olas inciden en la costa, *Waves*.

Actualmente, existen sensores que permiten a través de un sensor de presión hidrostática de silicio, determinar el tipo de oleaje y marea. Para ello, compensa las medidas tomadas por el sensor midiendo la temperatura a través de un procesador de señal que realiza una aproximación mediante un cálculo interno predefinido, teniendo en cuenta el nivel de salinidad del mar y la presión atmosférica. Un ejemplo nos lo encontramos con el mareógrafo SEAGUARD WRL [25]

4.2.4. Estudio de la vida marina

El mar, como el ecosistema más importante del planeta, integra una gran cantidad de especies vivas sin las cuales la vida en el planeta sería imposible. Los vehículos submarinos permiten profundizar en su estudio y conservación.

La instrumentación posible para el estudio marino es equipar el vehículo con un hidrófono, que transforma en energía eléctrica las señales acústicas, como el icListen LF 1 1600 Hz [28] o un proyector de sonido, que es capaz de emitir sonidos calibrados en gamas complejas de tonos y barridos como el icTalk HF [29].

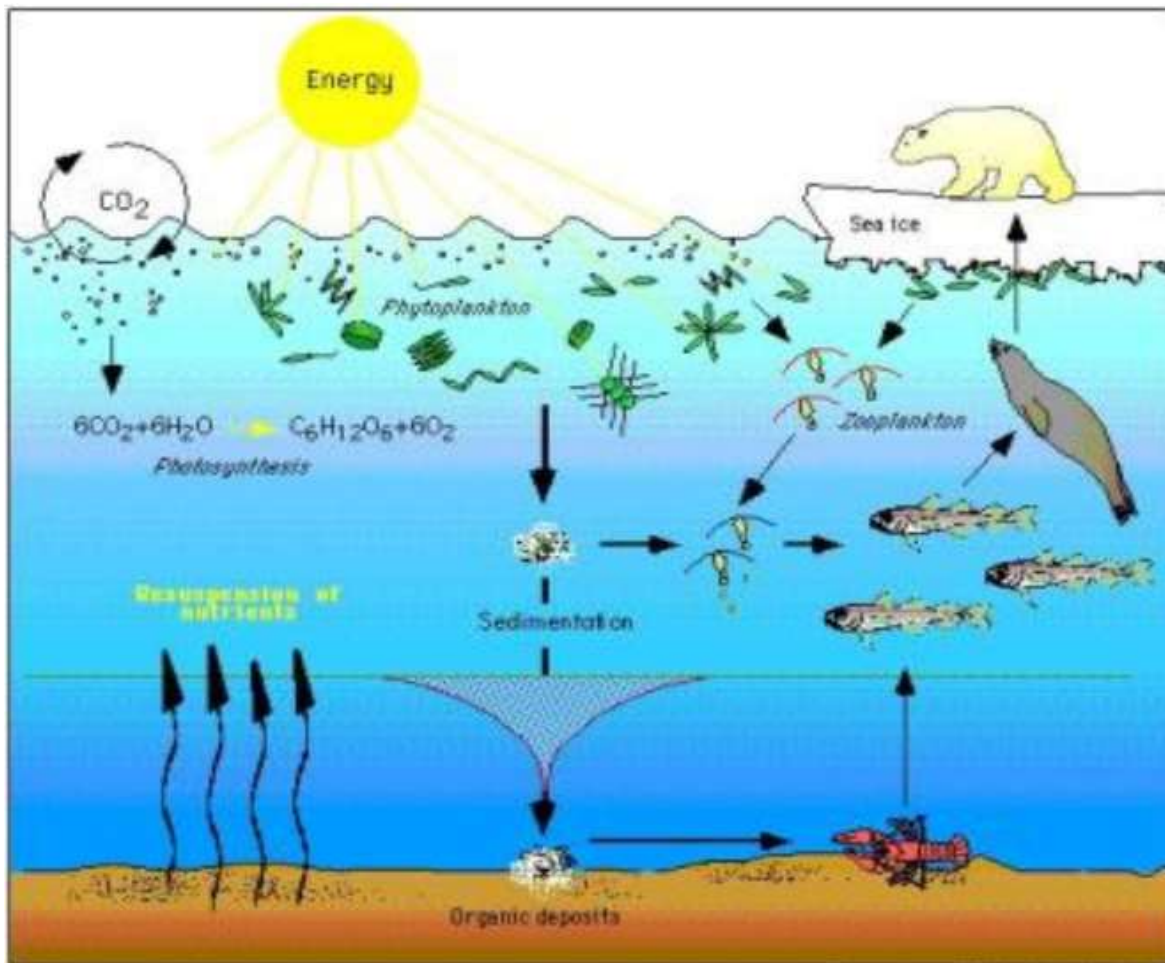


Figura 12 Representación del ciclo de vida dentro del mar, con Fitoplancton → Zooplancton → Zooplancton depredador → Alimentadores de filtro y peces depredadores → Mamíferos marinos y humanos [22]

4.3. Sistemas de obtención de datos

La vasta extensión del mar, el coste que supone el desarrollo de la nueva tecnología adoptada, el control y comunicación con el vehículo y la presión a la que se ve afectado a medida que baja, son los principales retos a los que nos enfrenta.

Actualmente existen diversos sistemas de exploración y supervisión del medio marino, cada uno de ellos centrado en adaptarse a uno o varios inconvenientes anteriormente mencionados.

Las instalaciones fijas, que monitorizan en tiempo real y aportan información a las estaciones costeras ha ido evolucionando, pero siguen siendo limitadas. Son destacables los observatorios de fondo marino, como el OBSEA de tipo fijo, desarrollado por la UPC y situado en la costa de Vilanova y la Geltru. Es de difícil o nula movilidad que depende totalmente de una estación de tierra para la energía y envió y transmisión de señalización. [13]

Los buques oceanográficos son los más adecuados para la investigación, disponen de instrumentación de última generación con energía suficiente para poder abastecerla, pero resultan altamente costosos y su posibilidad de permanencia continua en el mar no es viable, como ejemplo podemos mencionar el B/O Ramón Margalef, equipado con laboratorios y equipamiento científico permanente [12] apropiado para exploraciones para áreas pequeñas y baja resolución temporal, donde su coste de exploración suele ser elevado por su equipamiento, mantenimiento y transporte a la zona de estudio.

Vehículos submarinos tripulados, como el ICTINEO III primer submarino desarrollado y tripulado en Cataluña, [14] los cuales permiten movilidad y poder de decisión instantánea. Se ven comprometidos con la seguridad del tripulante y equipo necesario para su supervivencia, el tamaño y en consecuencia su grado de movilidad.

Los satélites, apropiados para estudios de grandes superficies desde el espacio lo que conlleva una baja resolución espacial, como ejemplo tenemos el SMOS (Soil Moisture Ocean Salinity) de la ESA (European Space Agency) que estudia la acidificación de los océanos y el problema del dióxido de carbono. [11]

La combinación de varios sistemas a la vez resulta muy eficiente, como ejemplo podemos mencionar las plataformas Lagrangianas que son plataformas de observación autónoma que se dejan derivar libremente y son conducidas por las corrientes marinas superficiales. Su nombre se debe al método que se utiliza para determinar el flujo de las corrientes. Dichas plataformas están compuestas por perfiladores y boyas, que mediante un seguimiento por satélite se establece su trayectoria y velocidad.



Los perfiladores **Figura 13** permiten seguir las corrientes oceánicas y realizar mediciones. Estos están sumergidos durante días, pudiendo regular su profundidad. Llevados por la corriente van recopilando datos y tras unos días suben a la superficie brevemente para transmitir los datos obtenidos al satélite, que a su vez lo retransmite a la estación receptora para su proceso.

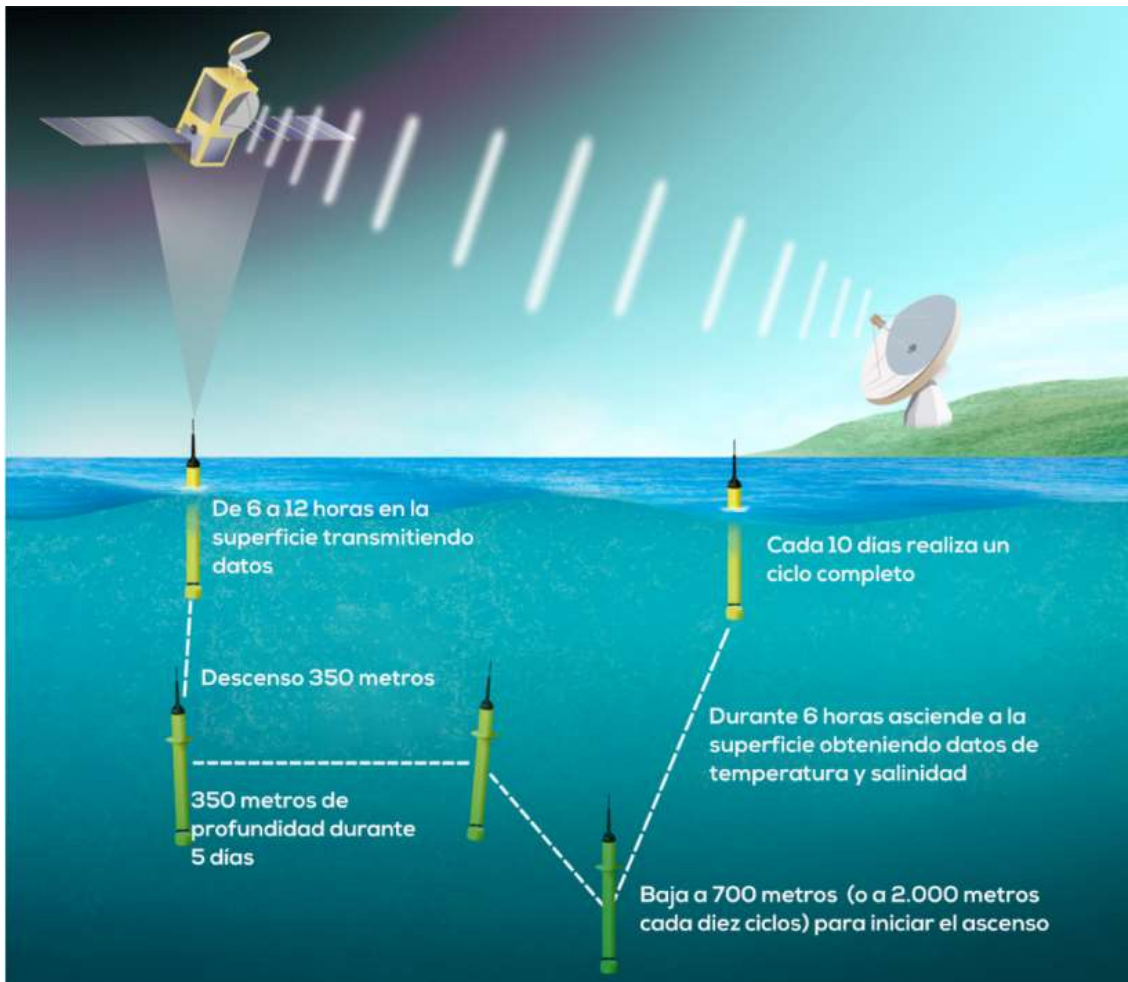


Figura 13 Esquema de funcionamiento de un perfilador de deriva autónomo [21]

Las boyas de deriva superficial **Figura 14** flotan libremente por la superficie, transmitiendo datos recopilados al satélite. Estas boyas incluyen accesorios para evitar ser desplazadas en exceso por el viento.

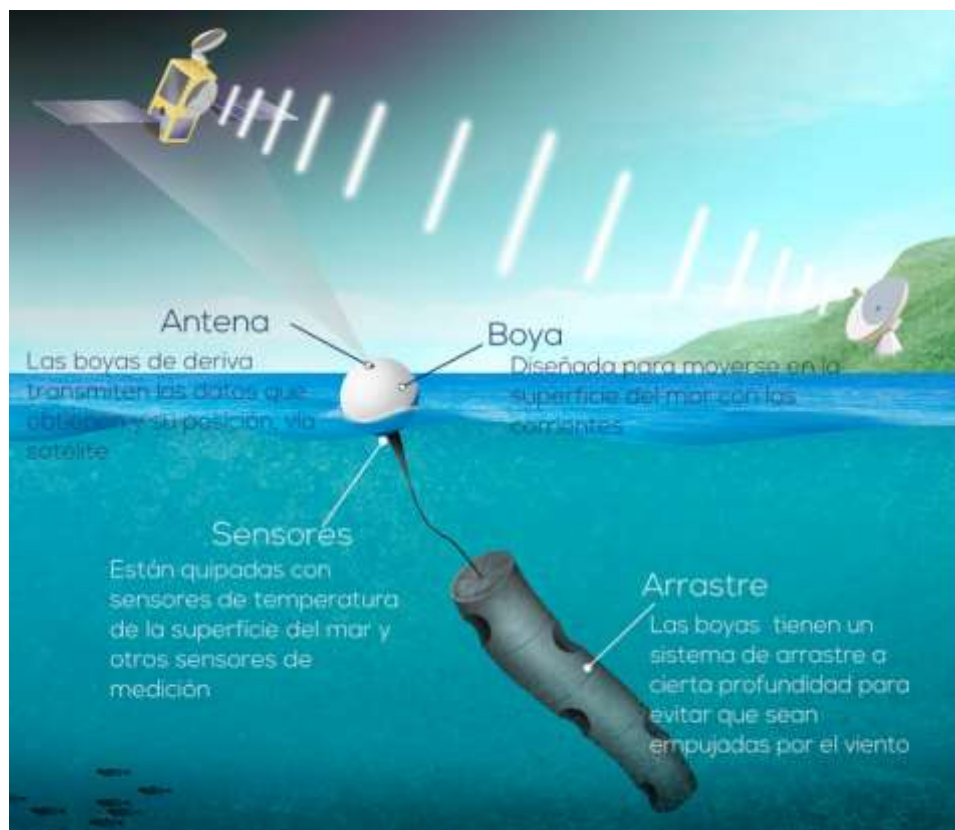


Figura 15 Muestra el funcionamiento de la boya de deriva superficial utilizada por las plataformas Lagrangianas [21]



Figura 14 Mapa donde se muestra la localización de la infraestructura de plataformas lagrangianas de SOCIB, con perfiladores ARGO y boyas de deriva

4.4. Vehículos no tripulados

Gracias a los avances tecnológicos llegamos a los vehículos submarinos no tripulados. Podemos distinguir dos grandes grupos;

Uno, los vehículos teledirigidos, también conocidos como ROV (Remote Operated Vehicle), conectados con una consola de mando a través de un cableado, situado por ejemplo en un barco en la superficie que permite dirigirlo de forma casi instantánea, pudiendo variar su rumbo y su instrumentación a voluntad. Este tipo de vehículos es ideal para las intervenciones de reparación y mantenimiento de instalaciones submarinas o en operaciones de búsqueda y rescate. Disponen de una gran autonomía ya que reciben su energía de la superficie.

Por otro lado, tendríamos el vehículo autónomo submarino o AUV (Autonomous Underwater Vehicle), Dispone de las decisiones parametrizadas de antemano, no siendo necesario un piloto que los dirija. Una de las ventajas más destacables es que no disponen de un cable de alimentación permanente que limite sus maniobras.

En este último apartado, se destaca el Glider, también conocido como planeador submarino o AUV sin propulsión. Se desplaza por el agua aprovechando la sustentación que le aporta su geometría. Cambiando su peso, llenando y vaciando un depósito que lleva en su interior mediante un pistón, es capaz de realizar movimientos verticales. Las aletas, le aportan movilidad horizontal aprovechando que cuando se crea un movimiento vertical debido a un cambio de peso, la velocidad del agua que circula por la parte superior e inferior de la aleta es diferente, lo que crea una diferencia de presión y la posibilidad de avance.

Gracias al avance de la tecnología, los AUV cada vez resultan más atractivos para el estudio marino, ya que tienen un consumo muy bajo, una alta capacidad de obtención de datos y recorren grandes distancias. Por contra, aun no son capaces de recoger muestras físicas, la resolución de los sensores aun es limitada y su navegación es tosca, pudiendo colisionar con otros objetos que estén a la deriva al no ser posible un cambio de rumbo instantáneo.

Los biomiméticos, con motores sin hélice y los WaveGlider, que aprovechan la fuerza de las olas cerrarían la clasificación según su propulsión de este tipo de vehículos.

Esta clasificación orientativa **Figura 16**, no descarta la combinación de sistemas de propulsión. Un ejemplo lo podemos ver en el Guanay II que hace posible combinar su propulsión con el aprovechamiento de cambio de flotabilidad.

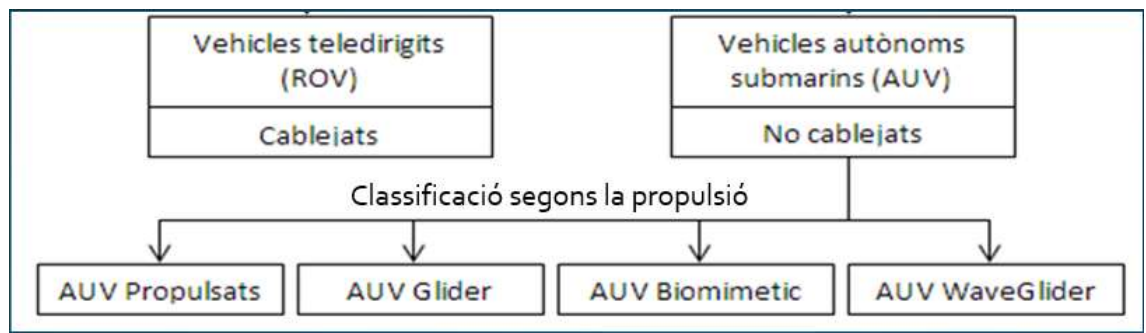


Figura 16 Clasificación de los vehículos submarinos no tripulados [15]

4.5. Guanay II

Es un vehículo autónomo submarino desarrollado por el grupo de investigación de Sistemas de Adquisición Remotos y Tratamiento de la Información, SARTI, de la Universidad Politécnica de Catalunya. Inicialmente fue diseñado para la investigación de zonas costeras, realizando exploraciones verticales en sitios puntuales.

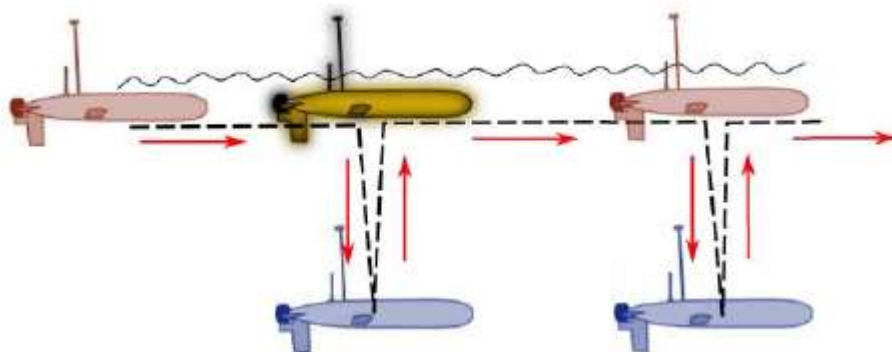


Figura 17 Representación de la exploración vertical efectuada por el vehículo Guanay II. Inicialmente navega por la superficie hasta un punto, tras lo cual realiza una exploración vertical. El ciclo se va repitiendo tras regresar a la superficie, donde transmite los datos obtenidos y obtiene el nuevo destino [2]

Los trabajos desarrollados posteriormente [1][2][4][10][17] fueron enfocados en mejorar su navegación en el plano horizontal dando el nombre actual al prototipo GuanayII convirtiéndose en un tipo híbrido AUV propulsado. Su navegación autónoma, es posible gracias a disponer de la

instrumentación necesaria, como un GPS y un software anti choque. A través de radio-modem proporciona comunicación directa de su telemetría que permite su seguimiento.

Sus proporciones [17][1] son 2300 mm de longitud por 320 mm de diámetro con un peso en vacío de 90 kg con una posibilidad de carga útil de 4 kg y una profundidad de trabajo de 30 m. Está compuesto por una estructura externa de fibra de vidrio en forma de torpedo con cinco superficies de estabilización que reducen el cabeceo y balanceo.

En el interior del cilindro estanco nos encontramos tres niveles. El inferior con el sistema de control de flotabilidad mediante un pistón, el intermedio equipado con las baterías del sistema de alimentación y el superior donde se haya la electrónica del vehículo [1].

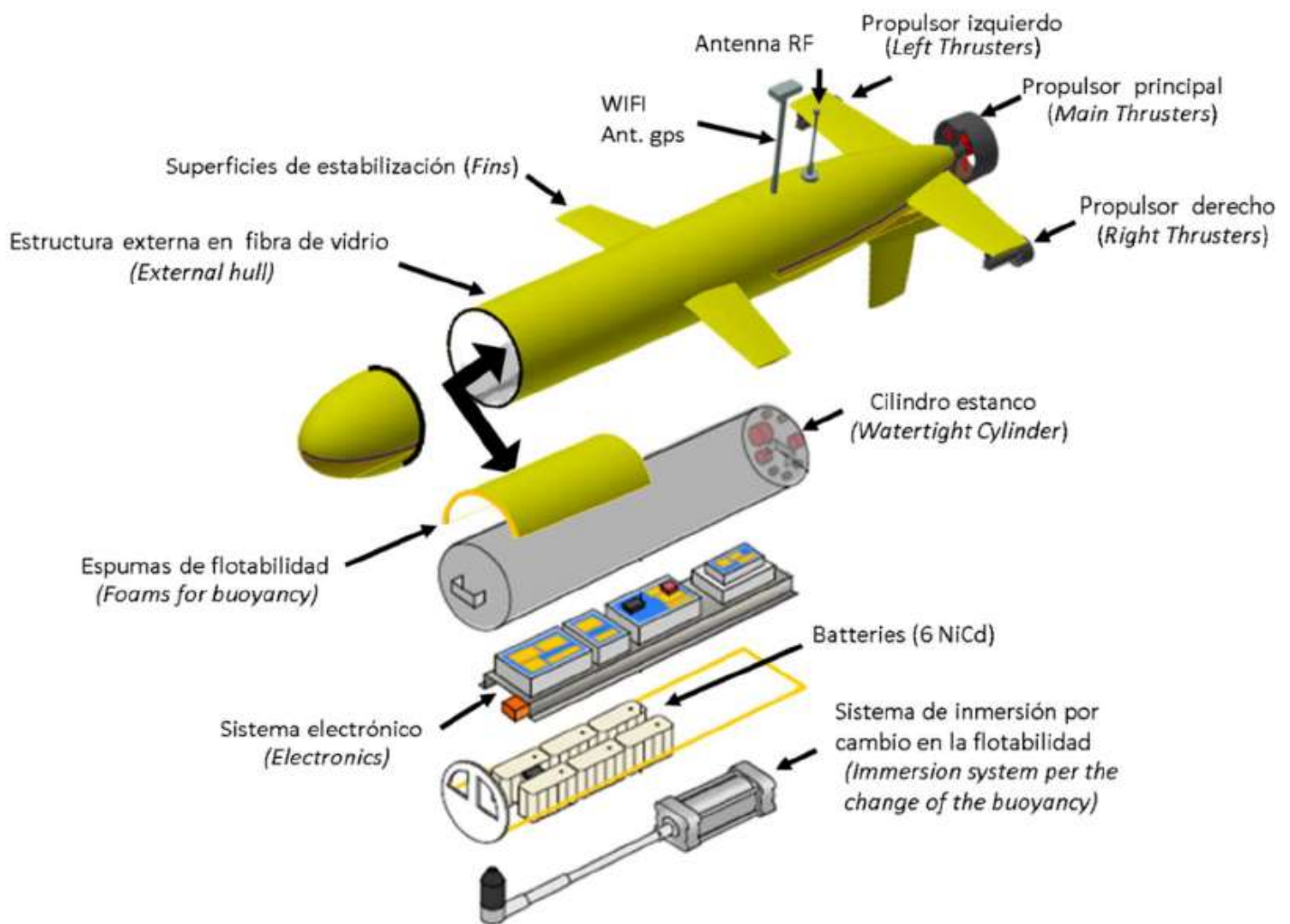


Figura 18 Diagrama estructural del AUV Guanay II Figura 2.15 [1] .Esquemática del vehículo con sus componentes principales. Los tres inferiores corresponderían a ubicarse dentro del cilindro.

En un extremo del cilindro nos encontramos conectores estancos que posibilitan la interconexión de los elementos electrónicos con el exterior, incluyendo entre ellos, la entrada de agua de mar para el funcionamiento del sistema de inmersión por cambio de flotabilidad.

4.5.1. Control y movimiento del vehículo.

El vehículo está preparado para navegar por la superficie hasta un punto donde tras detenerse realiza una inmersión gracias a su posibilidad de cambiar su flotabilidad mediante el cambio de peso del conjunto, permitiendo así obtener un perfil vertical.

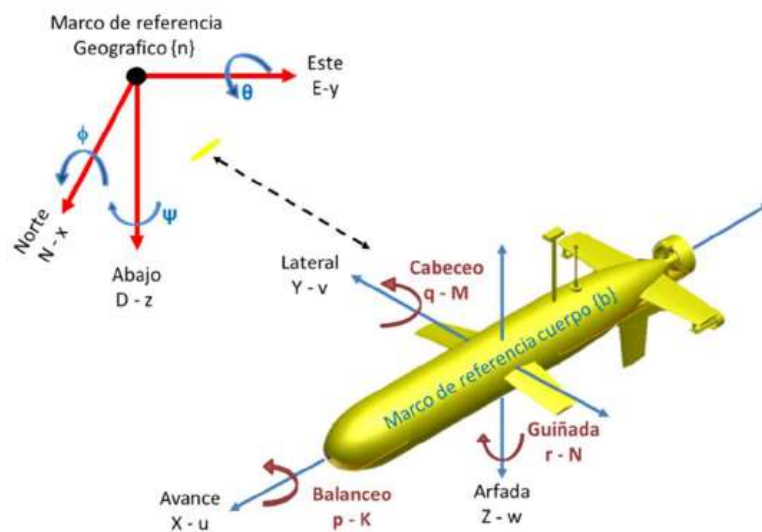


Figura 19 Representación extraída de la tesis[1] Figura7.1 de la misma, donde se puede apreciar los diferentes grados de libertad del Guanay II.

Incorpora tres propulsores. El principal, de propulsión, está ubicado en la parte trasera central, los otros dos, están ubicados en los estabilizadores laterales, pudiendo así controlar el rumbo del vehículo y permitiendo gracias al hecho de disponer de un grado de libertad de 25° con respecto al eje horizontal realizar y corregir giros helicoidales.

El sistema de comunicación está compuesto por una antena de radio frecuencia (RF) y un sistema global de posición (GPS) que reposa en la parte superior.



Figura 20 Representación extraída de la tesis[1] Figura 2.14 de la misma, donde se puede apreciar el sistema de comunicación y control del Guanay II, así mismo se observa la posición de las antenas en la parte superior del vehículo y los propulsores.

4.5.2. Mejora para del vehículo.

El Guanay II dispone de un sistema de inmersión por variación de peso. Este sistema funciona correctamente, aun que requiere de un especial mantenimiento.

El hecho de captar agua del mar dentro del pistón requiere para su buen funcionamiento de una limpieza en profundidad del mismo después de cada uso, para evitar que la sal y los restos de componentes que componen el agua **Figura 7** puedan llegar afectar al próximo funcionamiento del pistón. Este mantenimiento es costoso ya que requiere el desmantelamiento de muchos componentes.

El pistón, funciona a través de un motor que consume grandes cantidades de energía, sobretodo en el inicio de su funcionamiento. Esto provoca una disminución importante en la autonomía del AUV.

Los picos de corriente producidos por el funcionamiento del pistón pueden crear inestabilidades eléctricas llegando incluso a producir variaciones de tensión que podrían afectar a la electrónica del vehículo.

El espacio que requiere el sistema actual dentro de la cámara estanca es elevado, lo que dificulta el aumento de número de baterías en caso necesario.

Por último, el peso del conjunto dificulta su maniobrabilidad y transporte.

4.6. Solución propuesta

Habiendo examinado con anterioridad el medio donde opera el vehículo y las diferentes clases, así como el objetivo del mismo, se presenta una propuesta implementada con éxito en otros vehículos, para mejorar el sistema de inmersión.

4.6.1. Base teórica de la solución propuesta.

Aplicamos el Principio de Arquímedes:

“Todo cuerpo sumergido dentro de un fluido experimenta una fuerza ascendente llamada empuje, equivalente al peso del fluido desalojado por el cuerpo”. [5]

Para el control de la flotabilidad de un cuerpo en un líquido tenemos en cuenta las fuerzas verticales que le influyen.

Tal y como está sobradamente expresado en la tesis del Sr. Galarza [1] de la cual se basa este proyecto, modificando uno de los dos parámetros que determinan la flotabilidad del AUV podemos controlar el sistema de inmersión.

Concretamente las expresiones de los puntos 7-49, 7-25 y 7-26 recopiladas a continuación, de dicha tesis nos aportan el punto teórico de interés.



$$g(\eta) = \begin{bmatrix} (W - B) \sin(\theta) \\ -(W - B) \cos(\theta) \\ (z_g * W - z_b * B) \sin(\theta) + (x_g * W - x_b * B) \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (Ec) 2$$

Expresión (7-49) de la tesis del Dr. Galarza [1] del vector generalizado de la fuerza de restablecimiento desacoplado y generalizado correspondiente a la gravedad y a la fuerza de flotabilidad

En este caso se trata de modificar la fuerza ascensional (B) sin variar en absoluto la fuerza peso (W).

$$W = m * g \quad (Ec) 3$$

Expresión (7-25) de la tesis del Sr. Galarza [1] donde se recoge la expresión de fuerza peso del vehículo donde m es la masa total y g la fuerza de gravedad.

Un ejemplo de este principio nos lo encontramos cuando observamos un iceberg flotando en el mar. Como se encuentra flotando en equilibrio podemos decir que sus módulos de fuerza verticales son iguales. Según el teorema de Arquímedes, uno correspondería al valor de agua desalojada por el iceberg y otro al peso del mismo.

$$B = \rho * g * \nabla \quad (Ec) 4$$

Se recoge la expresión de fuerza de flotabilidad del vehículo. Se expresa la multiplicación de la densidad del agua de mar, gravedad y volumen del agua desalojada

Igualdad de la fuerza peso del iceberg con la fuerza ascensional ejercida por el agua desplazada del mar.

$$\rho_{mar} * g * \nabla_{sumergido} = m_{iceberg} * g \quad (Ec) 5$$

Si quisiéramos saber qué proporción de hielo de todo el iceberg no está sumergido en el agua, basta con igualar las ecuaciones anteriores.

Expresando la masa del iceberg por su homólogo,

$$\rho_{mar} * g * \nabla_{sumergido} = \nabla_{iceberg} * \rho_{iceberg} * g \quad (Ec) 6$$

y simplificando la gravedad, obtendríamos la relación que buscamos. Así pues:

Igualdad de la fuerza peso del iceberg con la fuerza ascensional ejercida por el agua desplazada del iceberg relacionando densidades

$$\frac{\nabla_{sumergido}}{\nabla_{iceberg}} = \frac{\rho_{iceberg}}{\rho_{mar}} \quad (Ec)7$$

Ecuación que relaciona las densidades de un cuerpo con respecto al volumen sumergido en un fluido

Podemos observar que la relación de las densidades entre ambos nos dará la proporción que buscamos, dando valores a las densidades obtenemos el porcentaje.

$$\rho_{mar \text{ Cuenca Canadiense}} = 1027 \text{ g/c}^3$$

Figura 21 Densidad en la Cuenca Canadiense a una temperatura potencial de -1C y salinidad 33.5ppt [24]

Como densidad del iceberg cogeremos la del agua pura en su punto de solidificación.

$$\rho_{agua \text{ pura punto solidificacion}} = 917 \text{ g/c}^3$$

Figura 22 Densidad en el punto de solidificación del agua pura [25]

En este caso, la relación nos indica que el 89% del iceberg está oculto bajo el agua. Si variáramos la densidad del iceberg sin variar su peso, variaríamos la cantidad sumergida.

Para el uso de este principio y la aplicación en un vehículo, se ha de tener en cuenta que la densidad del mar no es igual en todos sus puntos **Figura 3**, dependiendo de la zona y profundidad a la que queramos hacer trabajar al vehículo, deberá de existir una variación de la densidad del mismo tal que permita el equilibrio.

4.6.2. Propuesta

Modificando el volumen del submarino sin variar su peso, variaremos su densidad, lo que ocasionara un cambio de su punto de flotabilidad.

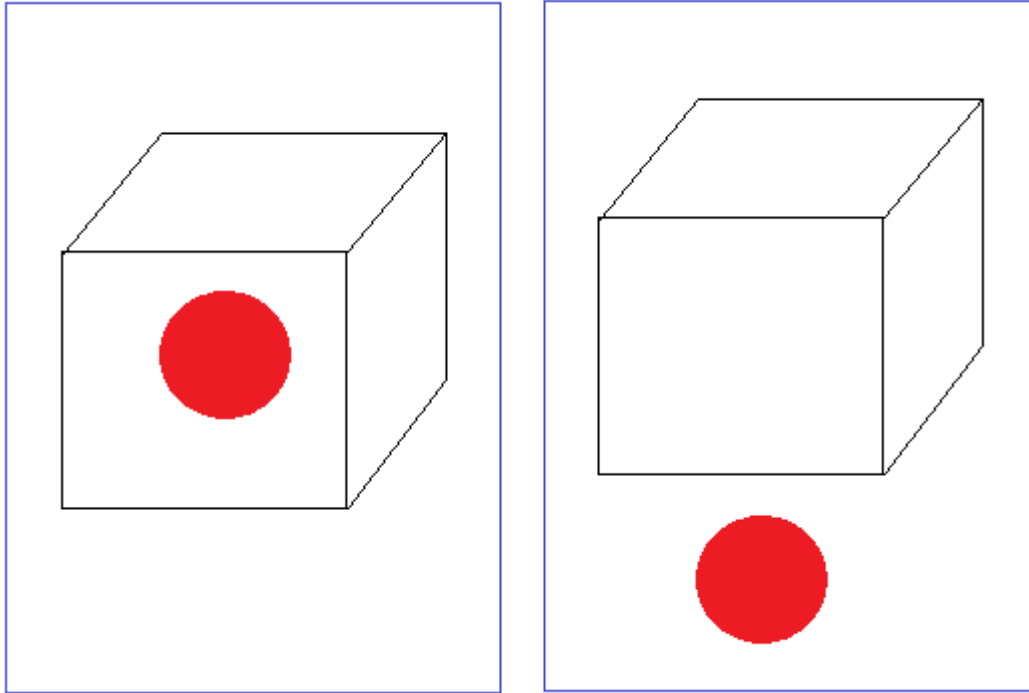


Figura 23 Representación de la diferencia de densidades entre el recuadro azul izquierdo y el derecho..

Siguiendo la **Figura 23**, colocamos en cada recipiente lleno de agua, un cubo y una esfera, en uno la esfera se encuentra dentro del cubo en la otra se encuentra fuera. Tanto el izquierdo como el derecho pesan lo mismo, ya que contienen lo mismo. Supongamos que el valor de este peso es 2 kilogramos. Suponiendo que el volumen del cubo es 10 litros y que el de la esfera es 5 litros, tendremos que la densidad del recuadro de la izquierda será $2/10 \text{ kg/l}$ y el de la derecha $2/(10+5) \text{ kg/l}$. Así pues, el recuadro azul de la derecha es de menor densidad que el de la izquierda sin haber variado el peso del conjunto.

Como hemos visto en las expresiones anteriores al disminuir la densidad del submarino conseguiremos que esta suba a la superficie.

Para modificar la densidad, variaremos el volumen del submarino. Se hará a través de una bolsa exterior deformable incorporada entre la carcasa del submarino y la cámara estanca. Una bolsa interior en la cámara estanca, nos proporcionará el poder llenar o vaciar a voluntad la bolsa exterior.

Para especificar el volumen necesario de la bolsa interior, no es necesario tener en cuenta la variación de presión que sufrirá la cámara interior cuando este volumen varíe, ya que resultará mínima.

Como se ha mencionado anteriormente, teniendo en cuenta las variaciones de densidad del agua de mar y el lugar donde opera el submarino, la bolsa ha de ser capaz de gestionar dicho diferencial de densidad.

Habiendo estudiado anteriormente estas variaciones **Figura 8** y habiendo visto que a nivel planetario no varía más que unos cuantos miligramos por litro, el dimensionamiento de la bolsa no supondrá un problema por estas circunstancias.

Su dimensionamiento se especificará principalmente, por la facilidad de instalación, gestión, y regulación del punto de equilibrio del submarino.

El submarino dispone de espumas extraíbles para ajustar el punto de flotabilidad siendo reguladas al inicio de la exploración. Una vez hallado este punto una mínima variación hará que este se sumerja.

Para poder comunicar la bolsa exterior y la interior y modificar mínimamente la cámara estanca, utilizaremos el acceso preexistente por donde circulaba anteriormente el agua de mar hacia el pistón.

El volumen se modificará a través de una bomba que se hallará en el interior de la cámara estanca controlada por un ordenador.

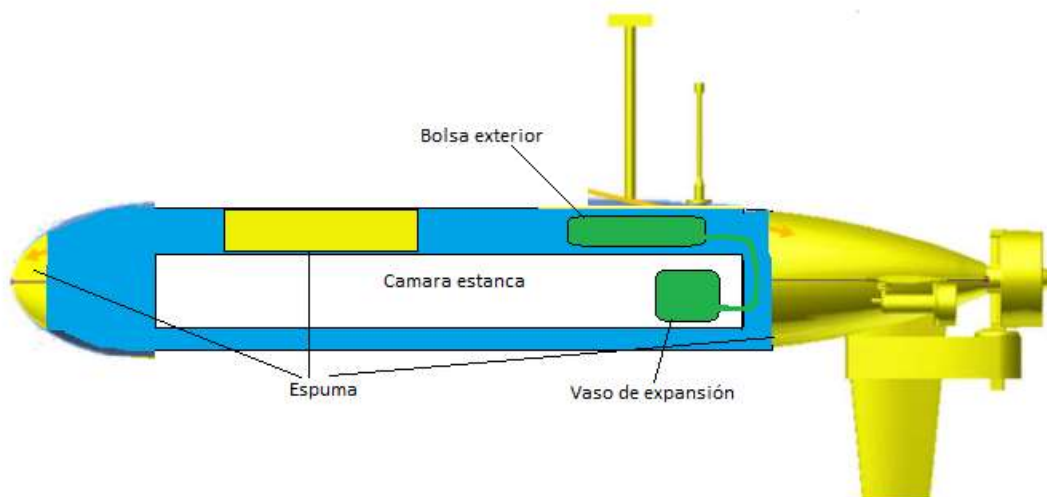


Figura 24 Representación modificada extraída de la tesis [1] Figura 6.1 del Guanay II. Se puede observar en verde lo comprendido por el nuevo sistema hidráulico y su localización en el submarino.

Este sistema de inmersión ha sido utilizado anteriormente, publicándose múltiples artículos para su calibrado y control [7][8].

Ya que el trabajo que realiza la bomba es proporcional a la diferencia de presión existente entre las dos bolsas, una mejora del diseño es sustituir la bolsa interior por un vaso de expansión **Figura 30**.

4.6.3. Especificaciones relevantes del GUANAY II para adaptar la solución propuesta

Para valorar la solución propuesta y ver su viabilidad es necesario conocer los componentes actuales que se verán afectados y modificados.

El sistema de inmersión sería sustituido, lo que supone una variación de su peso y una retribución de su espacio dentro del cilindro.

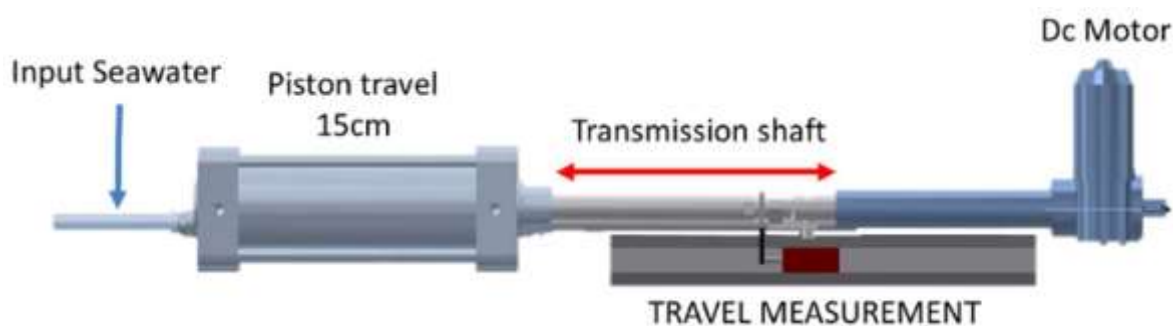
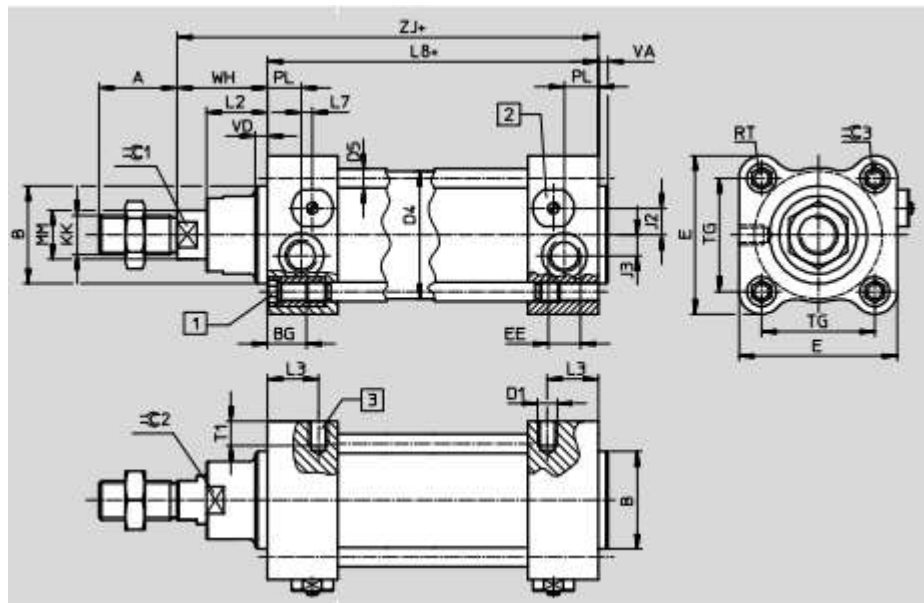


Figura 25 Esquema del sistema de inmersión actual del Guanay II, figura 8.21 [1]

El actual incluye entre otros accesorios un pistón de doble efecto modelo CRDNG-100-200-PPV-A [29] de la casa Festo con un recorrido de 200 mm y 100 mm de diámetro, su peso en vacío aproximado ronda los 10 kg con una capacidad de aproximadamente 1.5 litros.



Ø	A	B Ø e11	BG	D1	D4 Ø	D5 Ø	E	EE	J2	J3	KK	L2	L3		
[mm]															
100	40	55	23	M12	102,8	10	120	G1/2	23	14	M20x1,5	36	22,5		
Ø	L7	L8	MM Ø	PL	RT	T1	TG	VA	VD	WH	ZJ	ZM	≅1	≅2	≅3
[mm]															
100	9	138 +0,4/-0,6	25	18	M10	18	89	4	7	51	189	240	22	41	10

Figura 26 Figura y Dimensiones del pistón de doble efecto modelo CRDNG-100-200-PPV-A de Festo [29]
recopilados de la ficha técnica

Para actuar el cilindro, disponemos de un motor lineal ATL-08 de la marca LinearMech [30] de corriente máxima 9 A . El peso aproximado del actuador, es de 3.8 kg y 1.3 kg. el del motor.

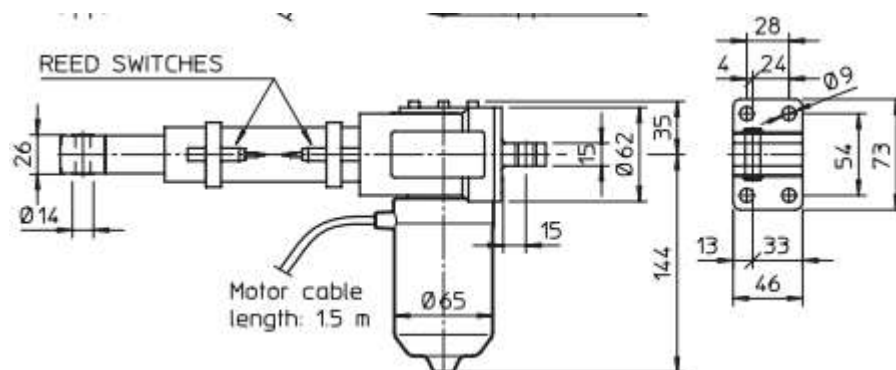
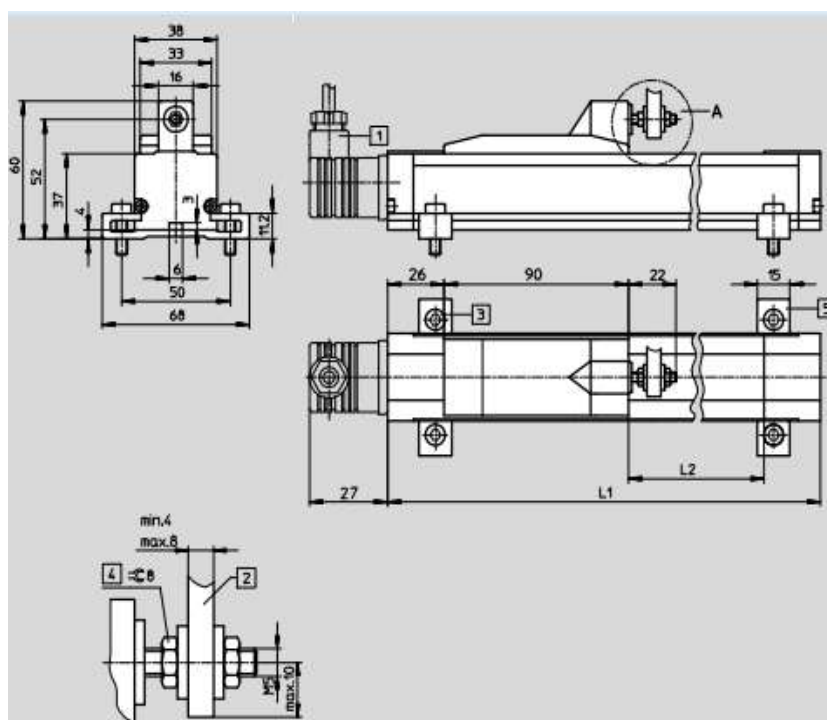


Figura 27 Dimensiones del motor y actuador lineal ATL 08 de Servomech usado en el sistema de inmersión para un recorrido de 200mm .[32]

Para poder controlar el recorrido del pistón se incluye un sensor MLO-POT 2000-TLF de Festo.[33] con un peso de 4 kg.



Dimensiones y referencias

Carrera	L1	L2	Nº de artículo	Tipo
[mm]		(carrera mecánica / eléctrica útil)		
2 000	2 168	2 026/2 020	152 636	MLO-POT-2000-TLF

Figura 28 Extracto de especificaciones de sensor MLO-POT 2000-TLF de Festo.[33]



Como podemos ver, sumando los pesos de los principales componentes extraeríamos más de 20 kg de peso, y tendríamos de espacio suficiente para incorporar la bolsa interior y el motor propuesto.

4.6.4. Mejoras de la solución propuesta.

El sistema propuesto modifica considerablemente las prestaciones y características de submarino.

- **Menor peso del conjunto**, sustituyendo el sistema actual con el anterior. Facilita el transporte y maniobrabilidad fuera del agua. Esto también modifica su punto de flotabilidad neutra, lo que hace posible el transporte de material más pesado de instrumentación en caso necesario. En comparación el sistema de inmersión por cambio de peso tiene una masa muy superior al sistema propuesto.

- **Mayor espacio para las baterías**. Como todo dispositivo sumergible la autonomía es uno de los puntos más sensibles. El volumen necesario dentro de la cámara, es menor. Esto puede aprovecharse para incrementar la capacidad de almacenaje de energía en forma de baterías, aumentando así su autonomía y posibilidad de consumo para la instrumentación.

- **Consumo estable del sistema de inmersión**. Con una bomba bidireccional y controlada con un regulador se evitan los picos de corriente y se consigue un consumo nominal menor.



Una aproximación al consumo la observamos con las simulaciones realizadas **Figura 50**. Suponiendo el peor de los casos donde la bomba tiene que superar el máximo diferencial de presión, el consumo duraría unos 170 segundos para llenar la bolsa exterior.

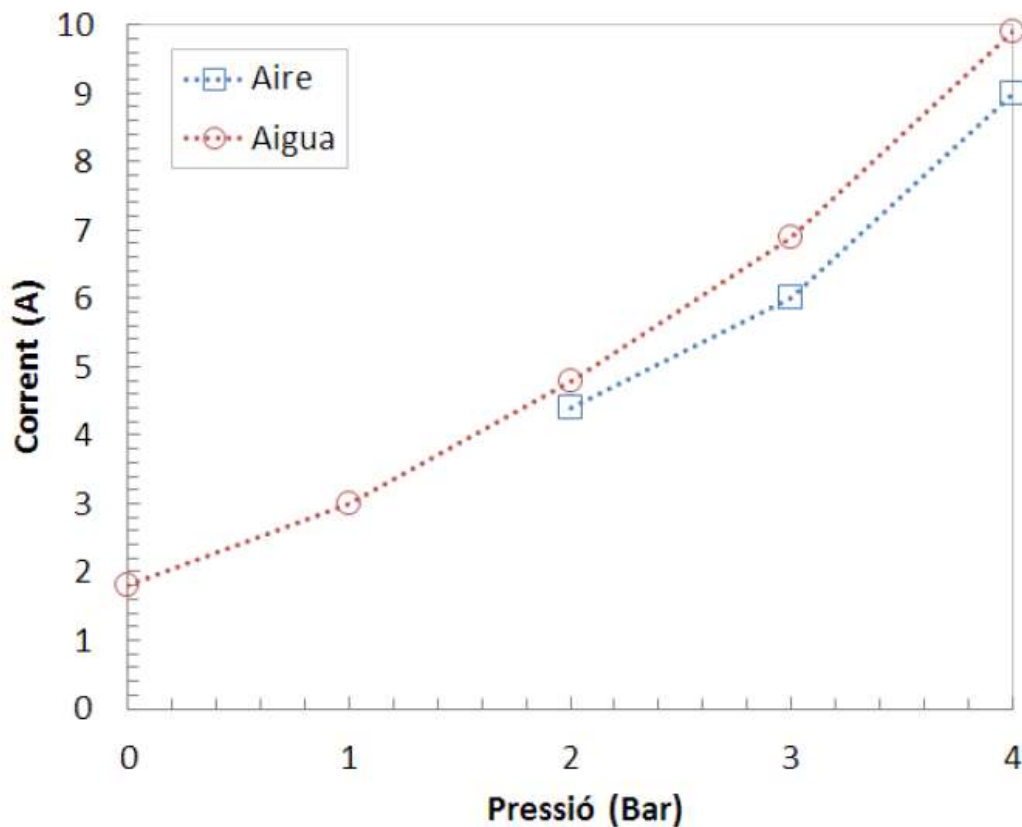


Figura 29 Resultado de la prueba realizada con el pistón en la cámara hiperbárica [4], en azul se representa el funcionamiento del pistón al aire, en rojo, trabajando con agua.

. Los 1,8 A de consumo máximo del motor propuesto resultan muy inferiores al del sistema anterior.

Estas puntas de intensidad requieren a las baterías y al conversor una potencia puntual muy superior comparado con el sistema propuesto. Según la gráfica podemos observar que la presión máxima son 3 Bar (30 metros), puesto que el sistema actual de alimentación no pudo aportar más de 7A.

- **Mantenimiento reducido.** El nuevo sistema no requiere de un mantenimiento complejo. Únicamente ha de revisarse los componentes y conexionado, así como la presión del vaso de expansión cada vez que el submarino valla sea utilizado.

- **Mayor profundidad de trabajo del conjunto.** Gracias a las características del motor podemos llegar a los 110 metros de profundidad **Figura 50**.

Ya que el motor trabaja por diferencial de presión, opcionalmente, sustituyendo la bolsa interior por un vaso de expansión podemos superar dicha profundidad.

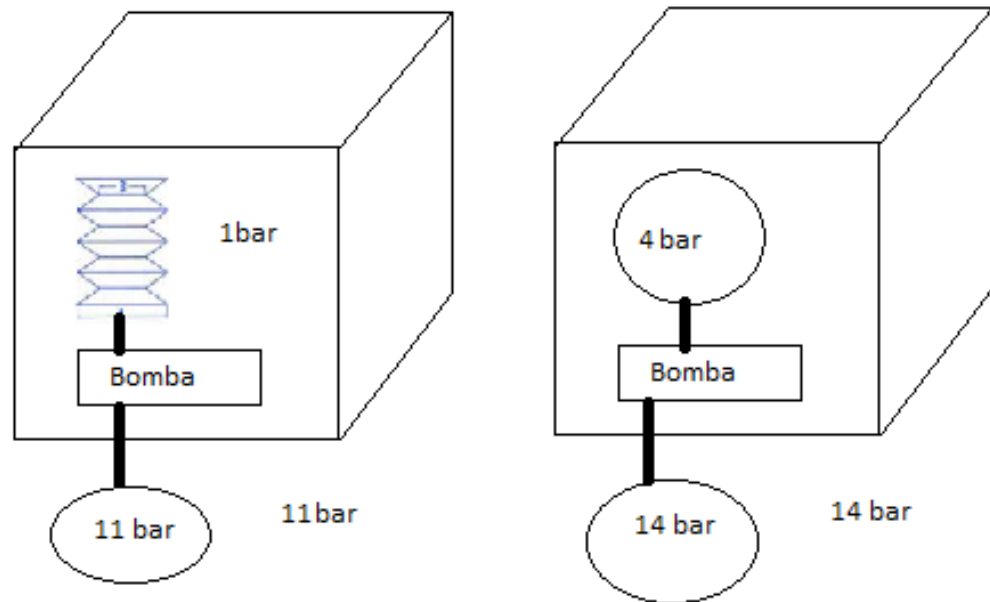


Figura 30 Representando el cubo, el cilindro estanco interior del submarino, llegamos al mismo diferencial de presión de 10 bares en ambas figuras. La figura de la derecha con un vaso de expansión cargado a 4 bares a una presión exterior de 14 bares y la de la izquierda a 11 bares con una bolsa interior tipo acordeón.

La limitación de profundidad a la cual puede llegar el vehículo depende de todos sus componentes. Actualmente el componente que lo limita es el sistema de inmersión por cambio de peso a 40 metros **Figura 31**. Con el nuevo sistema propuesto esta limitación sería fijado por la resistencia a la compresión de las espumas de relleno que como podemos apreciar en el cuadro siguiente están limitadas a 85 metros.

Component	Value	Units
Main thruster	1000	m
Lateral thrusters	150	m
Watertight module	300	m
Foams	85	m
Cylinder motor	40	m

Figura 31 Tabla 4.3 extraída del documento[10] que nos expresa las limitaciones de profundidad de cada componente del submarino. Actualmente la capacidad del cilindro limita a 40 metros, el precedente, *Foams*, son las espumas de relleno que limitarían al vehículo con el nuevo sistema propuesto.

- **Coste reducido del sistema en comparación con el anterior.** El coste del conjunto de la instalación es inferior al instalado. El coste del sensor, el pistón y el motor ya supera el presupuesto expuesto en este trabajo **Figura 70**.

5. Diseño.

Durante la realización de este proyecto, se han realizado múltiples estudios y planteamientos relacionados con este tipo de sistema de inmersión. Cada uno de ellos aporta modificaciones y mejoras. Los ejemplos expuestos a continuación son una pequeña muestra.

En este caso nos encontramos con un tanque de aceite estático y uno expandible. Este último estaría situado en el exterior del vehículo. En este diseño se ha añadido un sensor de seguridad de llenado y una válvula de control. La velocidad del motor se regularía a través de un sistema de control.

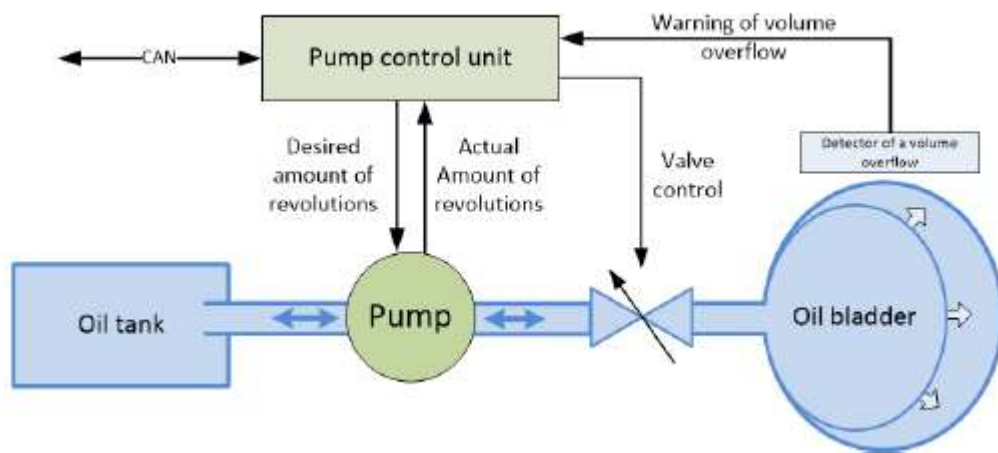


Figura 32 Ejemplo de comprensión esquemático del funcionamiento del sistema de inmersión propuesto.
Bomba bidireccional, aceite utilizado como medio de transmisión de presión [8]

Este diseño ha sido implementado con éxito en un vehículo para el control y supervisión de residuos en el mar. Podemos observar como existen varias compuertas para controlar el paso de aceite por el circuito. El funcionamiento del motor se supervisa con dos sensores de presión, uno a cada extremo del mismo. La compuerta se cierra automáticamente para evitar que el deposito interior sufra ningún daño.

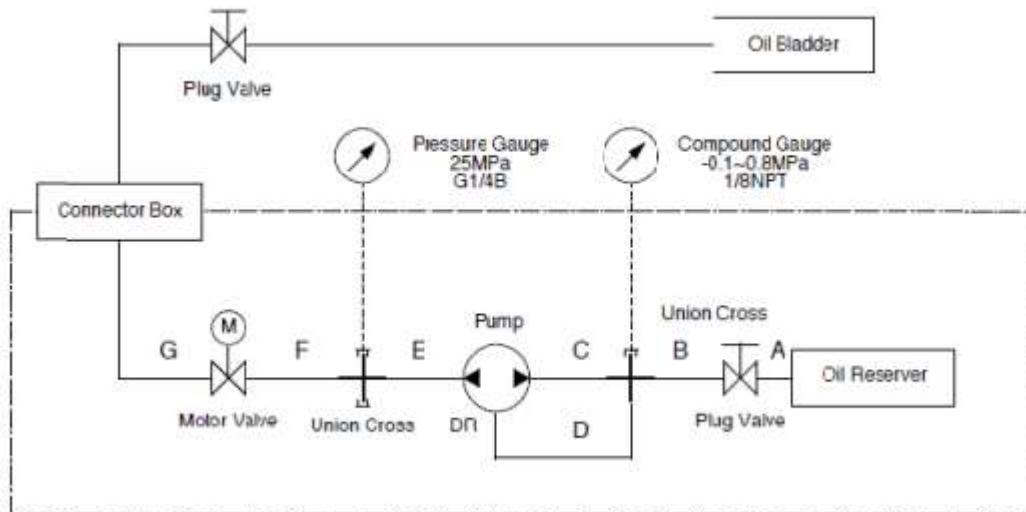


Figura 33 Diagrama extraído del prototipo montado en el SOTAB-1 donde se verifico satisfactoriamente en el mar Tobaya Bay Japon [34]

En el siguiente diseño **Figura 34** desarrollado en un experimento para perfeccionar los sistemas de inmersión de los Gliders, se usa una bomba mono direccional para llenar la bolsa exterior y mediante

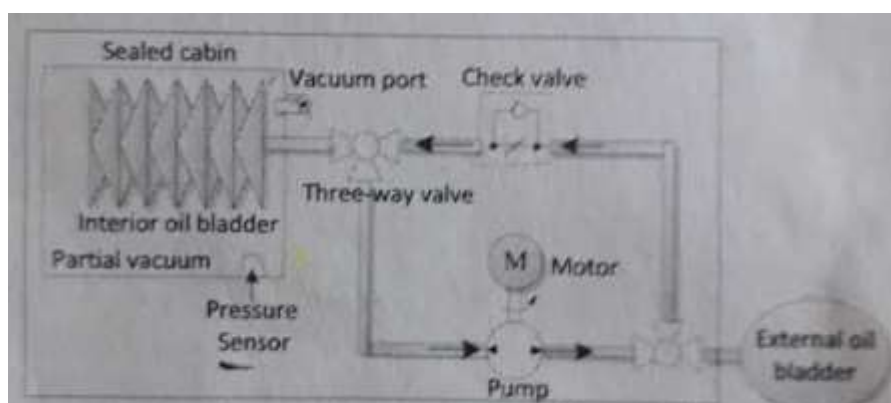


Figura 34 Sistema de ajuste de inmersión utilizado en un Glider. Bomba mono direccional. Como medio de transferencia se utiliza aceite y para el control, un sensor de presión de aire. [35]

una conexión a tres vías y una electroválvula se aprovecha la presión existente exterior para volver a llenar la bolsa. Se aprecia un sensor de presión de aire para conocer el estado de la bolsa interior.

En este experimento **Figura 35** se utiliza el aire como medio de transmisión. La finalidad del experimento es encontrar la relación entre presión volumen y temperatura. Se utiliza un sensor de presión en la cámara estanca para conocer el estado de la bolsa interior. Nótese, que al tratarse de un gas existe compresión, y es necesario controlar el volumen que experimenta la bolsa exterior

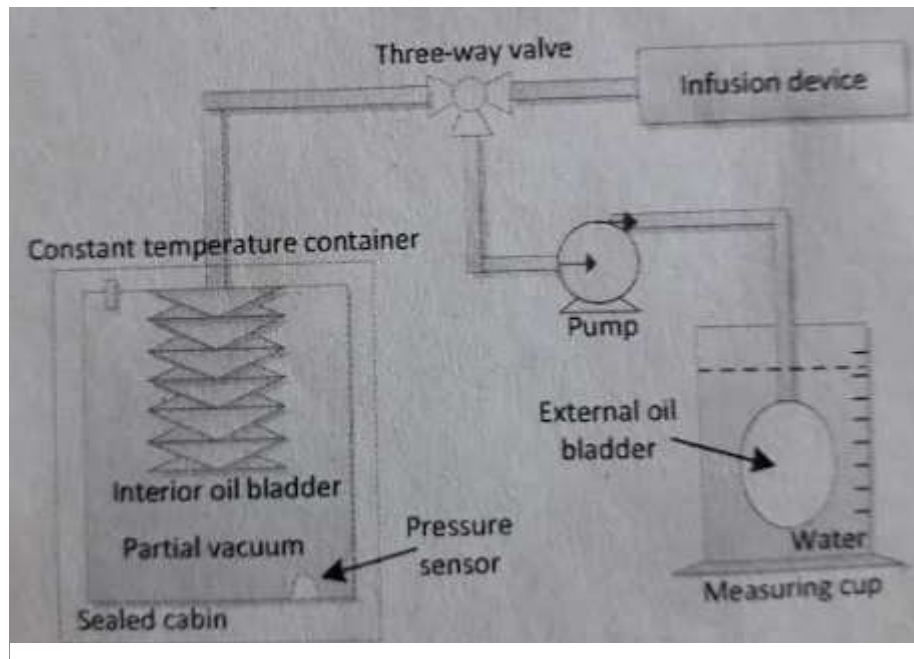


Figura 35 Montaje realizado utilizando como medio de transmisión un gas, para el estudio de la relación entre presión temperatura y volumen.[35]

5.1. Esquema del montaje propuesto

Puesto que lo propuesto es una modificación de parte de un sistema ya existente, instalado en el Guanay II, podemos aprovechar y disponer de los recursos y sistemas de control que ya dispone. El vehículo dispone de un sensor de presión exterior, este, no está incluido en el presupuesto, aunque si será esencial para el control de la modificación propuesta.

Se remarca la propiedad de estanqueidad e inalterabilidad en el volumen, isocora, de la cámara interior del vehículo.

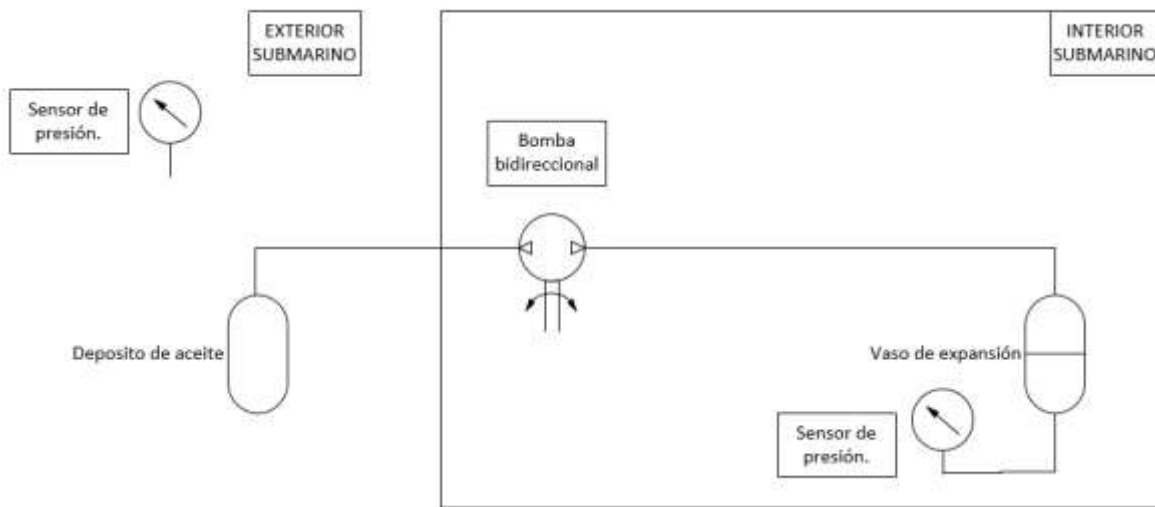


Figura 36 Esquema propuesto para el vehículo Guanay II como prototipo de sistema de inmersión.

Se opta por utilizar una bomba bidireccional regulable y un vaso de expansión como bolsa interior. El diseño propuesto utiliza aceite como medio de transmisión evitando así la compresión del mismo, facilitando su movimiento y mejorando el posible desgaste de la bomba. El vaso de expansión facilita la lectura del estado del fluido independientemente de la posición del vehículo mediante un sensor de presión de aire.

6. Modelo sistema de control.

Ya que se trata de comprobar el funcionamiento del nuevo sistema de inmersión, la funcionalidad del vehículo será realizar exploraciones verticales.

La simulación aportada [1] dispone de múltiples factores que en este proyecto no van a ser utilizados. Es por ello necesario realizar algunas modificaciones previas.

Existe un estabilizador de punto de gravedad a medida que el pistón se va llenando el cual también se desactivará ya que este no existirá.

Su funcionamiento será como la de un perfilador vertical, se desactivan todos los propulsores dando por sentado que no existen. El gobierno se realiza únicamente mediante el sistema de flotabilidad.

Ya que la profundidad del vehículo es proporcional a la presión que soporta el mismo, el sistema de control tendrá en cuenta la variación entre la presión deseada y la presión actual del vehículo.

El objetivo es realizar una simulación que verifique mediante comparación, de datos empíricos obtenidos en otros ensayos, el correcto funcionamiento del sistema propuesto.

Para realizar las simulaciones se parte de la simulación realizada por el Sr. Lagarza[1] en su tesis, variando y adaptando los parámetros y ecuaciones.

6.1. Ecuaciones de las simulaciones

Se ha realizado una serie de mejoras en el programa de simulación que facilitan la comprensión del mismo y hacen posible la adaptación rápida a las distintas condiciones de interés. Todo el programa se ha traducido en una serie de variables configurables al principio del mismo. En el siguiente ejemplo se determina el peso, volumen y densidad de cada uno de sus componentes.

```

%%DENSIDAD
gr=9.807           %gravedad
densidad=1025;     %densidad agua
da=1025;           %densidadAceite;
de=130;            %densidad espuma
%%VOLUMEN
vc=75.61e-3;       %vol CilindroInox Submarino
vb=1.5e-3;         %volumenBolsa exterior
vac=2e-3;          %vac>=vb
ve=17e-3;          %volumen espuma
va=71.6e-3;        %volumen agua interior
vo=5.2e-3;         %volumen otros cables y demas
%%MASA
mPlus=3.5;         %masa añadida de instrumentacion EQUILIBRIO W-B
ms=92.6;           %masa estructura submarino
me=2.21;           %masa espuma
mo=1.35;           %masa otros componentes
ma=73.39;          %masa agua interior (1025)
mb=da*vac;         %masa de la bolsa (llena o vacia pesara lo mismo
m=ms+me+mo+ma+mb;

```

Figura 37 Muestra de una parte de las variables nuevas insertadas dentro del programa de simulación para realizar las modificaciones deseadas [1]

6.1.1. Estudio de la flotabilidad y el punto de equilibrio

Para el estudio de la flotabilidad nos centraremos en las fuerzas verticales que actúan en el sistema.

En la simulación original se modificaba la fuerza peso W teniendo en cuenta las variaciones que sufría a medida que el pistón se iba llenando, estas variaciones fueron separadas por ciclos de llenado que afectaban a una variable llamada “peso”. Estos ciclos estaban condicionados por la variable temporal “ t ”.

Como se puede apreciar la ecuación de fuerza ascensional no se veía modificada por ninguna variable dinámica y era constante en todo el proceso.

```

if ciclo==0 % 0%
    if peso<peso1
        peso=peso+0;
    else
        end
elseif ciclo==1 % 10%
    if peso<=peso1
        peso=peso+(ciclo*0.12*t/48);
    else
        end
elseif ciclo==2 % 20%
    if peso<=peso1
        peso=peso+(ciclo*0.12*t/53);
    else
        end
elseif ciclo==3 % 30%
    if peso<=peso1
        peso=peso+(ciclo*0.12*t/73);
    else
        end
elseif ciclo==4 % 40%
    if peso<=peso1
        peso=peso+(ciclo*0.12*t/86);
    else
        end
elseif ciclo==5 % 50%
    if peso<=peso1
        peso=peso+(ciclo*0.12*t/110);
    else
        end
elseif ciclo==6
    % anula el uso del piston
end

```

```

W= ((92.6+(130*0.017)+(desidad*0.0716)+(130*ext)+peso+1.35)*9.807);
B=(desidad*9.807*(0.1694+(0)));

```

Figura 38 Ecuaciones de la simulación original aportada[1] Las primeras expresan los estados de la variable peso a cada ciclo de programa. Así mismo se expresan las ecuaciones de equilibrio donde “desidad” es la densidad del agua de mar, “peso” la variación de peso que sufre el pistón al llenarse y “ext” de valor constante 0.

En este caso esta variación no existe y esta parte de la simulación con los estados es eliminada y sustituida. Las ecuaciones fundamentales se modifican expresándolas de un modo parecido a las

ecuaciones expuestas anteriormente (Apartado 4.6.1 de este documento) que recuperamos a continuación.

$$W = m * g \qquad B = \rho * g * \nabla$$

Figura 39 Expresiones recuperadas del apartado 4.6.1 de este documento. Representan la Expresión(7-25) de la tesis del Sr. Galarza [1] donde se recoge la expresión de fuerza peso del vehículo donde m es la masa total y g la fuerza de gravedad y la expresión(7-25) de la tesis del Sr. Galarza [1] donde se recoge la expresión de fuerza de flotabilidad del vehículo Se expresa la multiplicación de la densidad del agua de mar, gravedad y volumen del agua desalojada

Se modifica el formato de la ecuación sin variarla, aportando nombres de variables a los valores anteriormente expuestos.

```
W=(ms+mo+me+da*vac+densidad*va+mPlus)*gr;
B=gr*densidad*(vc+ve+vo+va+volumenActual*1e-3);
```

Figura 40 Muestra extraída del programa Matlab de las ecuaciones utilizadas en la simulación para el equilibrio de flotabilidad aplicando el principio de Arquímedes (Apartado 4.6.1 de este documento)

En este caso, sumamos todas las masas del vehículo y lo multiplicamos por el valor de la gravedad terrestre. En la ecuación de la simulación se expresa la masa de algunos componentes como su homologo (multiplicando la densidad por el volumen que ocupa). En este caso, la fuerza peso, no variara en todo el proceso y podría simplificarse por un valor fijo previamente calculado.

Se opta por expresarla en diversas variables para facilitar la modificación de los parámetros en caso necesario sin tener la necesidad de ir calculando cada vez de forma manual un nuevo valor y buscar a lo largo del programa que valor nuevo le está asociado a cada ecuación.

Si por un suponer tuviéramos que cambiar el valor de la densidad del aceite utilizado no nos representaría ninguna dificultad, ya que únicamente deberíamos cambiar el valor de la variable fijada al inicio del programa de simulación.

En este caso la ecuación de fuerza ascensional B será distinta en cada instante de tiempo. La variable volumenActual se va actualizando en cada ciclo de tiempo de la simulación hasta que la bolsa está completamente llena. Una vez llegado al punto deseado, controlado por una constante que simula la

presión exterior, el proceso se invierte. Se puede apreciar en la figura siguiente como el volumen actual está afectado por el flujo de la bomba configurado con la variable “flujolseg”.

```
if (volumenActual>=0)
    volumenActual=volumenActual-flujolseg*dt; % caudal ml/s
end
```

Figura 41 Expresión en MatLab de parte de la modificación realizada en la simulación. Momento de vaciado de la bolsa exterior según el flujo de la bomba.

Realizamos una simulación variando la densidad del líquido del sistema hidráulico utilizado y comprobamos como afecta a las ecuaciones fundamentales.

Realizamos una comparación y estudio del resultado de las fuerzas cambiando las condiciones de los estados donde nos encontramos.

En la figura siguiente se expresa una densidad relativa y el peso del conjunto.

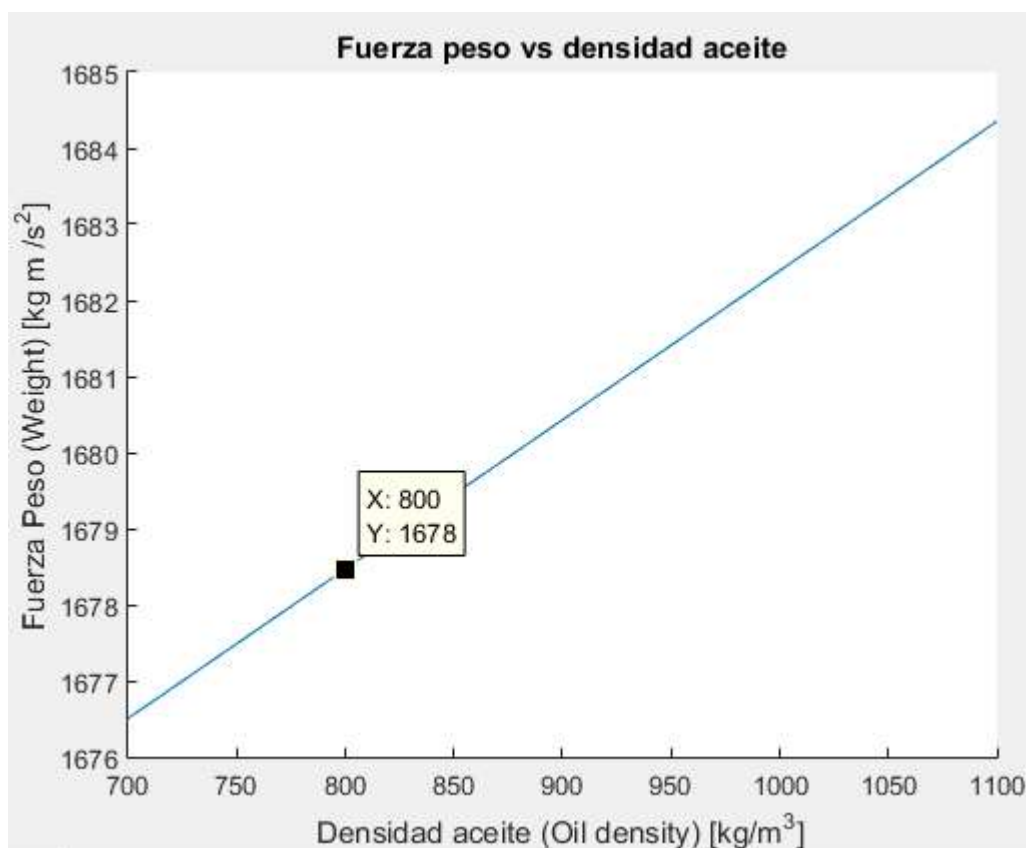


Figura 42 Resultado de la variación de la densidad del aceite utilizado para una capacidad total de 2 litros con respecto al conjunto total. Eje vertical fuerza peso. [kg*m / s²] Eje horizontal Densidad [kg/m³]

A continuación, podemos ver un extracto de las instrucciones realizadas en Matlab para la elaboración de la comparación entre la bolsa exterior y la fuerza ascensional.

```
t=0;
for vb=0:0.05e-3:2e-3;
    B=g*d*(vc+ve+vo+vb+va); %Fuerza ascensional
    t=t+1;
    tB(:,t)=B;
    tvb(:,t)=vb;
end
figure
hold on
plot(tB(:),tvb(:)*1000);
title('Fuerza ascensional vs volumen bolsa exterior');
xlabel('Fuerza Ascensional (Buoyancy [kg m /s^2])');
ylabel('Litros bolsa exterior [l]');
```

Figura 43 Extracto del programa para realizar una gráfica comparativa entre la bolsa exterior y la fuerza ascensional. Los valores se van guardando en tB y tvb para cada tiempo de t equivalente a 5 cl de fluido.

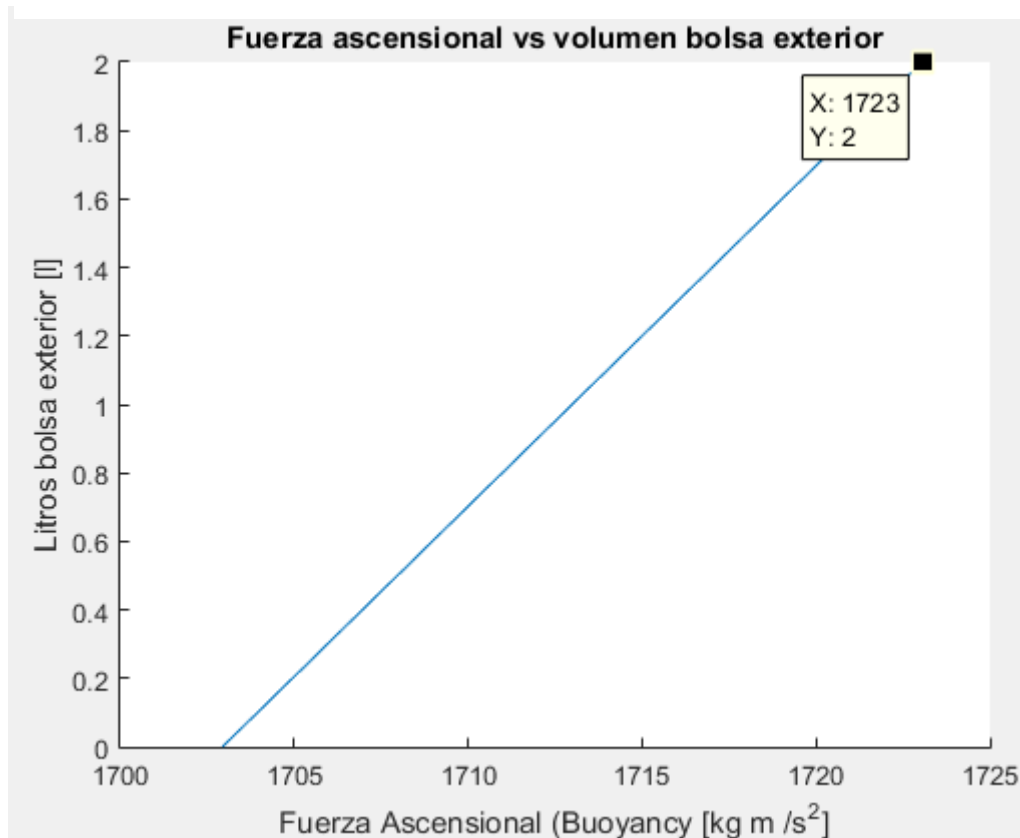


Figura 44 Relación entre la fuerza ascensional expresada en $\text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2$ con respecto al llenado de la bolsa exterior expresada en m^3

Así pues, **Figura 42** suponiendo una densidad de aceite de 800 kg/m^3 nos correspondería una fuerza peso (W) de $1678 \text{ kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2$

Suponemos además que la densidad del mar es constante con un valor de 1025 kg/m^3 y realizamos una comparativa según el llenado de la bolsa exterior para descubrir la fuerza opositora ascensional.

Cuando está llena del todo, tenemos una fuerza ascensional (B) de 1723 N , fijando una densidad del fluido a un aceite de 800 kg/m^3 .

Con lo cual;

$(1723-1678)/g = 4,5 \text{ Kg}$ de peso extra para llegar al punto de equilibrio con la bolsa llena

Con la bolsa vacía serían;

$(1703-1678)/g = 2,5 \text{ kg}$

Considerando la densidad del agua de mar constante tenemos que la fuerza ascensional es proporcional al volumen de la bolsa exterior.

Si tenemos en cuenta que realmente la densidad del agua de mar varía irregularmente, aumentando con la profundidad, esta fuerza ascensional calculada sería el valor mínimo que nos podríamos encontrar en la realidad.

Por último, realizamos una comparación con la variación de densidad del aceite suponiendo que el vehículo pesara menos, ya que le quitamos el sistema antiguo de inmersión, digamos 20 kg menos . y comparamos la relación existente entre W y B.

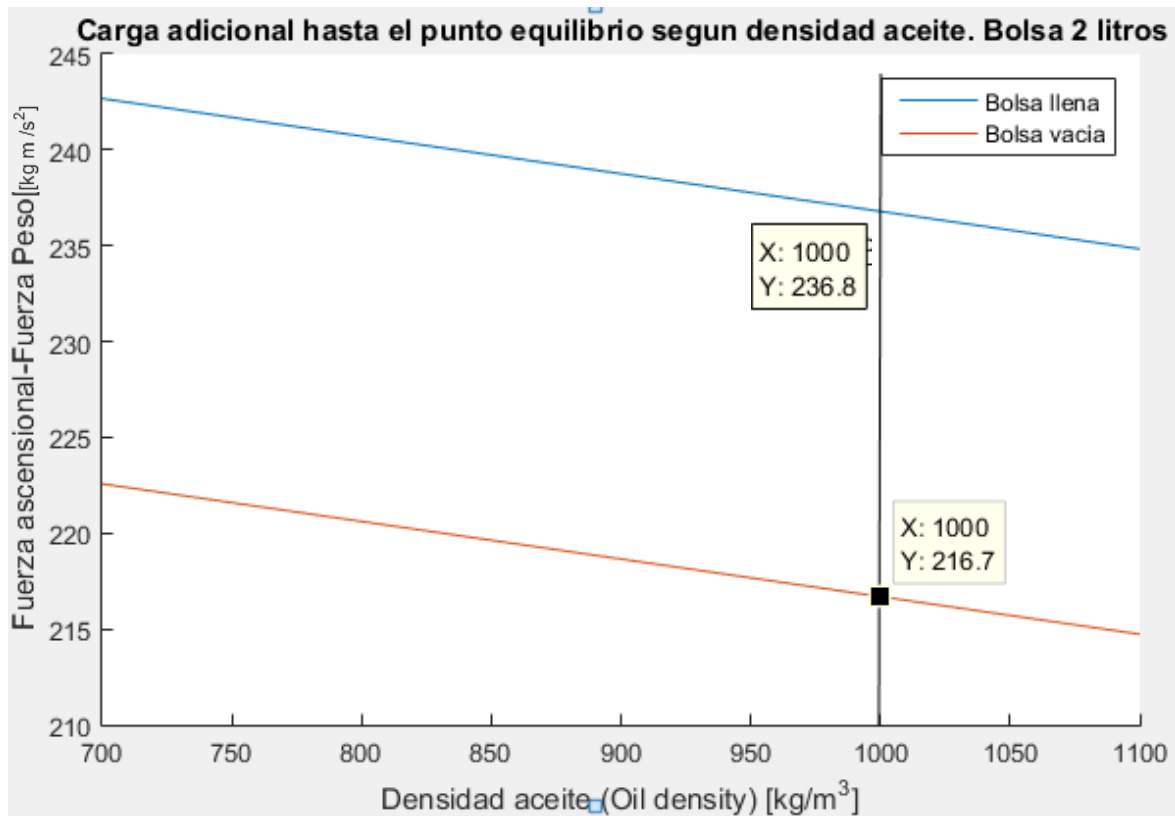


Figura 45 Comparación de la diferencia existente entre las fuerzas verticales dependiendo del estado de la bolsa exterior según la densidad de aceite utilizado. En azul la bolsa llena de 2 litros de capacidad y en rojo vacía. Se remarca el resultado mediante la ayuda de una línea negra vertical a una densidad determinada.

Apreciamos dos rectas paralelas donde la diferencia entre ellas son los dos litros de diferencia. La variación de peso total del vehículo no afecta al resultado.

6.2. Regulación PID

Como hemos visto anteriormente variando el punto de equilibrio entre la fuerza ascensional y la fuerza peso se hace posible el movimiento. Para mantener una profundidad determinada, es necesario ir variando este punto de equilibrio hasta llegar a igualarlo.

Con la función de perfilador vertical, el programa únicamente reaccionaba cuando llegaba a la presión preseleccionada, con lo que se deduce que existe una histéresis notable entre el punto de referencia y el conseguido por el vehículo a causa de las fuerzas inerciales. Para controlar y minimizar dicha histéresis, se puede ir regulando el llenado y vaciado de la bolsa en proporción a la diferencia existente con el punto de referencia.

La regulación PID se realiza teniendo en cuenta la diferencia entre el punto actual y el punto deseado y proporciona un valor de salida adecuado para obtener una aproximación lo más rápida posible sin pagar por ello grandes variaciones de presión u oscilaciones indeseables.

El punto deseado es fijado por el operador y puede ir cambiando a voluntad. La lectura del punto actual la realizamos mediante un sensor de presión existente en el vehículo.

En cada ciclo de tiempo corregiremos la salida dada al motor que controla la bolsa exterior para que se adapte a las nuevas circunstancias.

Teniendo en cuenta que no utilizamos propulsión, el sistema únicamente se basa en ajustar el punto de equilibrio entre las fuerzas verticales, esto provoca que sea de actuación lenta y provoca un uso continuo de energía, llenando y vaciando la bolsa, para lograr mantener una posición estática con una corrección continua inevitable.

La ventaja del ajuste mediante el sistema de flotabilidad es el bajo coste energético y el poco ruido que genera comparándolo con el ajuste mediante propulsión.

Podemos aproximar un sistema de control con corrección PID teniendo en cuenta las tres variables que nos afectan.

Por un lado, tenemos la variable tiempo, que nos determina cuando hemos de mirar el cambio entre momento y momento. El error, será la diferencia entre la presión actual y la prefijada. Por ultimo tenemos la velocidad. Que nos indicara el grado de cambio que tenemos. Esta última variable se trata del error calculado por fracción de tiempo pudiendo derivar directamente el valor del error tratando la presión como una distancia. En el esquema siguiente representa que dicho valor es aportado por el vehículo.

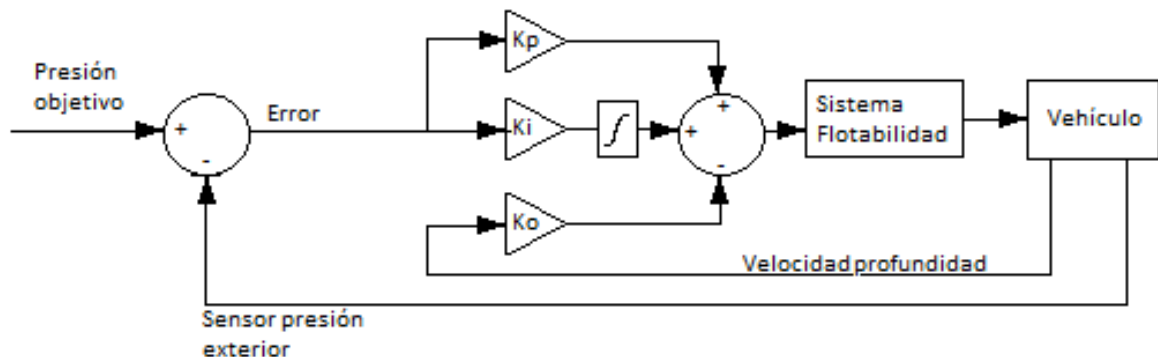


Figura 46 Sistema típico para el control con PID mediante el sistema de flotabilidad.

El sistema ira cíclicamente mediante la variable tiempo actualizando el sistema de flotabilidad. Los parámetros de regulación del sistema PID son K_p , K_i y K_o respectivamente. K_p corrige las diferencias más grandes incidiendo proporcionalmente en el error, K_i se encarga de la última aproximación al valor deseado, integra el valor error y lo suma al nuevo valor. Por ultimo tenemos K_o que hace disminuir el nuevo valor cuanto más grande es la velocidad de descenso y viceversa.

La suma de todos ellos aporta un nuevo valor al sistema de flotabilidad que actuara en consecuencia. El vehículo reaccionará y nos dará nuevos valores de presión y velocidad.

Como se puede observar, los parámetros están interrelacionados, lo que al modificar uno se modifica el resto.

En el GuanayII es posible el uso de propulsores. En estudios realizados para vehículos AUV[8] se ha demostrado que un uso combinado de ambos sistemas resulta ser más eficiente, estable y no requiere de una calibración compleja de los parámetros que intervienen lo que hace que se pueda adaptar fácilmente a las perturbaciones externas.

7. Componentes

7.1.1. Restricciones en la búsqueda de material y criterios de selección de los componentes.

Una vez desarrollada la base teórica y reafirmada a través de simulaciones, nos disponemos a realizar la búsqueda de componentes para la propuesta del montaje expuesto en el apartado anterior.

Ya que se trata de un proyecto universitario vinculado al departamento SARTI, el material propuesto a utilizar para el prototipo viene determinado principalmente por el proveedor. En este caso se ha optado por RS [6]. Este proveedor, en ocasiones impone una demanda mínima a ser suministrada lo que restringe aún más las posibilidades de escoger el producto adecuado.

Algunos componentes finalmente no han podido ser administrados, por este u otros proveedores, durante la realización de este proyecto, con lo que el montaje de lo aquí planteado ha quedado descartado, igualmente se expone el material y las características de los componentes al formar parte de las simulaciones realizadas y ser un ejemplo viable para su futura implementación.

Considerando que se trata de realizar un prototipo a nivel académico financiado por el departamento se realizara un montaje sencillo, que cumpla mínimamente con la funcionalidad básica de demostrar el correcto funcionamiento, para en su caso realizar otros más perfeccionados, es por ello que muchos de sus componentes no están adaptados a altas prestaciones.

Los criterios y componentes principales seleccionados se exponen a continuación.

7.1.1.1. Conducto comunicativo.

Al tratarse del primer prototipo optamos por un entubado que nos resulte practico para efectuar las pruebas necesarias. Ya que la presión será mínima. Se opta por usar un conducto neumático de pequeño diámetro que facilita su instalación y reposición.

En modelos posteriores es posible usar conductos hidráulicos inoxidables con conectores rápidos que incluyan retenciones de bola, que permitan desconectarlos sin perder el fluido que tienen dentro.

7.1.1.2. Vejiga exterior.

Su forma debe poder adaptarse al espacio libre que existe entre la cámara estanca y la carcasa del vehículo. Una forma rectangular seria adecuada, aunque no imprescindible.

El volumen debe rondar los 2 litros. Esto facilitara la búsqueda del punto de flotabilidad en su puesta en marcha, cuanto menor sea este volumen, más precisos se ha de ser en esta búsqueda.

Al estar en contacto con el agua marina ha de poder tener las características para poder soportarla sin degradarse. La diferencia de presión que ha de soportar técnicamente no es muy alta, aunque si es aconsejable que tenga cierta resistencia.

Ha de poder tener una apertura que permita su conexión con el tubo comunicativo.

7.1.1.3. Vaso de expansión.

El uso del vaso de expansión nos facilita la lectura del volumen del sistema. Al ser un intercambiador su transformación isocora nos permite realizar una lectura del aire, y calcular el volumen de fluido del interior, sin importar la posición del vehículo con respecto el horizonte.

Para la lectura de la presión interior escogeremos un sensor de presión absoluta, con señal en tensión a 5 V a presión máxima de 200kPa.

7.1.1.4. Bomba.

El motor de la bomba es bidireccional, lo que permite llenar y vaciar la bolsa exterior. En el cuadro siguiente se muestran las características principales de la bomba seleccionada. La tensión de trabajo, amperaje y caudal se adaptan a las condiciones necesarias.

Con la bomba seleccionada se incluye un controlador para su funcionamiento, el que nos permite regular la velocidad y presión a la cual queremos que actúe en cada momento. Es destacable el peso y tamaño del mismo en comparación con el sistema actual utilizado (Apartado 4.6.3 de este documento).

Size		Weight	Operating Temp	IP Rating
61 x 32 x 30 mm		142grms	-20 to 100 deg C	STANDARD IP45 WATERPROOF IP67
Performance	Input Voltage	Power Usage	Max Pressure	Max Free Flow
MGD1000P ALL MODELS	6 - 24 V	3 - 30 W	12.0 Bar	470 mLpm

Figura 47 Características principales del motor MGD1000P de Micropumps[9]

7.1.1.5. Aceite.

Se opta por un líquido para evitar la compresión del mismo durante la inmersión. El líquido utilizado será un aceite de base de silicona. Este tipo de aceites disponen de grandes propiedades lubricativas y

fundamentalmente son poco nocivas para el medio ambiente. En caso de falla en la contención de la bolsa exterior o de algún componente expuesto al agua de mar, nos aseguramos de que el daño posible provocado al medio marino sea el menor posible.

7.1.2. Limitaciones según componentes elegidos

El programa de simulación se ha adaptado a los componentes elegidos. El caso más destacado es el funcionamiento de la bomba. Siguiendo las características de la misma se ha extraído su recta de carga máxima y se ha adaptado a la simulación.

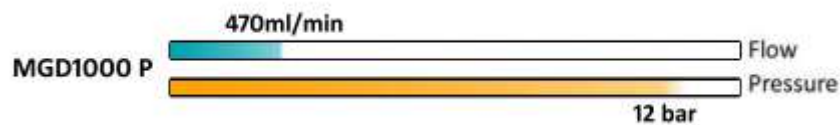


Figura 48 Relación volumen presión de la bomba del sistema hidráulico [9]

Como se aprecia en la figura anterior, la bomba seleccionada tiene un caudal máximo de 470 ml/min a 12 Bar de presión.

Para realizarlo se han extraído las dos rectas fundamentales mediante los cuatro puntos necesarios del gráfico aportado en las características de la bomba. Mediante programación en Matlab se han creado las tres condiciones necesarias para el funcionamiento, siendo la última de ellas la anulación de la bomba a partir de 11 bares, en este caso no apuramos al máximo de la bomba.

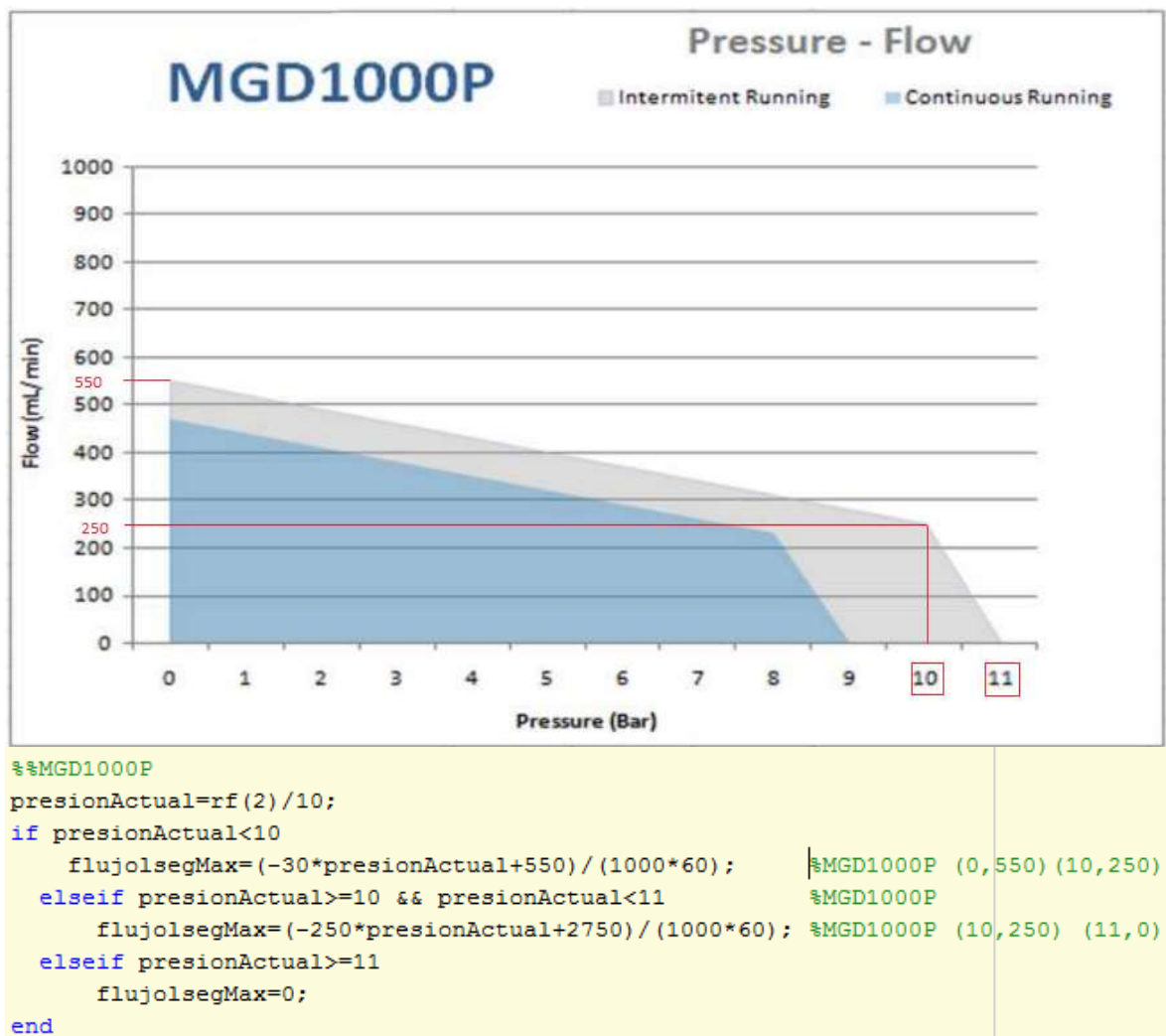


Figura 49 Ejemplo de adaptación del programa de simulación a las características del material. En este caso, se hace trabajar a la bomba sobre la recta máxima de funcionamiento y suponiendo el máximo rendimiento posible.

Se puede apreciar la programación realizada de las dos rectas de carga con el programa Matlab que afectan a la variable “flujosegMax” según el valor leído de la presión exterior, “presionActual”. Cuando la presión es superior a la que soporta la bomba el flujo se vuelve 0.

Las figuras siguientes son el resultado de una simulación de la dinámica vertical del vehículo, donde se configura un punto de profundidad de referencia de 57.5 metros. Teóricamente al llegar a dicho punto debería volver a la superficie.

La bolsa exterior, inicialmente se encuentra llena. Al ser su punto de referencia superior al indicado esta se va vaciando. Una vez vacía del todo sin haber llegado al punto deseado, la bomba se para y el vehículo continuo su descenso. Cuando el vehículo alcanza la profundidad deseada la bolsa externa empieza a llenarse de nuevo, sin embargo, el vehículo en este punto ha adquirido una velocidad y trayectoria que hace que siga descendiendo por la inercia.

La velocidad del vehículo va disminuyendo a medida que la bolsa se va llenando. Se puede observar como la bomba va desacelerando cuando llega a su punto máximo y no es capaz de seguir llenándola. Esto nos indica que el vehículo ha llegado a los 110 metros de profundidad.

Como el sistema en ese punto se encuentra en flotabilidad positiva el submarino alcanza de nuevo una cota accesible para la bomba que hace que vuelva a ponerse en funcionamiento.

Así pues, podemos determinar que hay una mejora en las prestaciones dependiendo de la bomba utilizada.

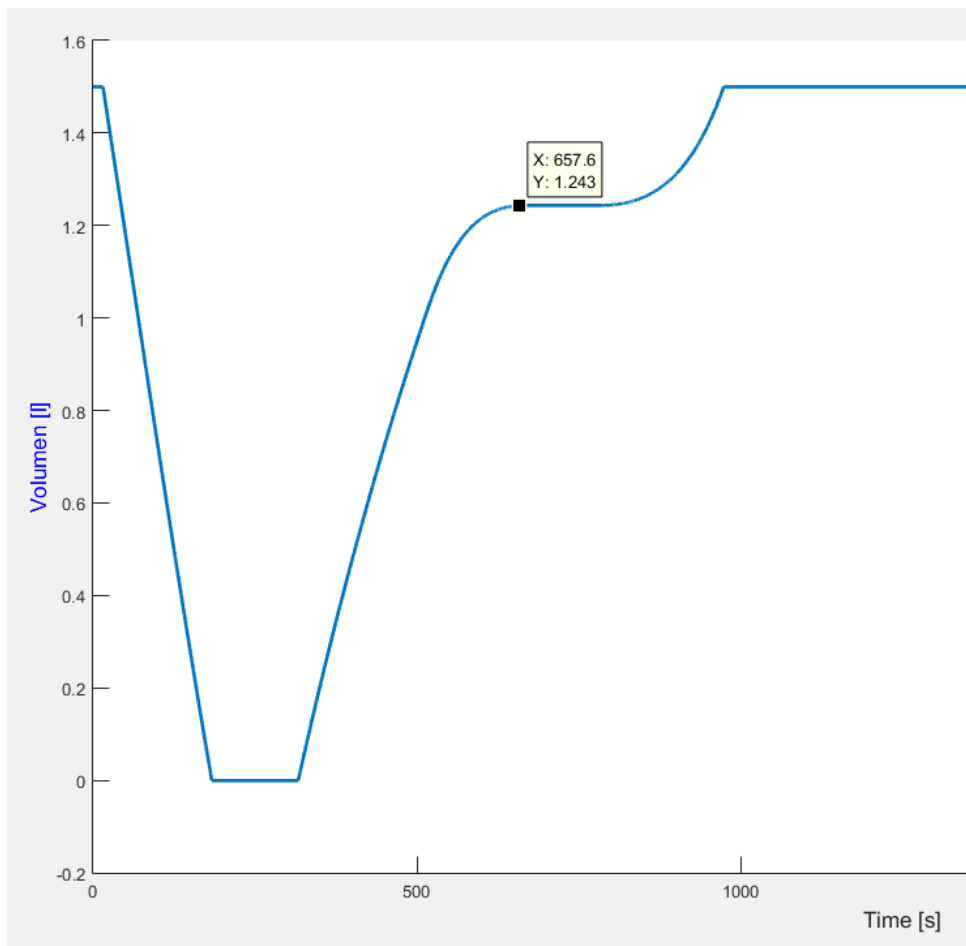


Figura 50 Volumen de la bolsa exterior expresado en litros con respecto el tiempo, segundos. Queda reflejado el punto donde la bomba por sus características deja de bombear por exceso de presión.

Se puede comprobar la influencia de la inercia del vehículo debida a su geometría descendiendo más que el punto elegido, por otro lado, la influencia de la curva de la bomba.

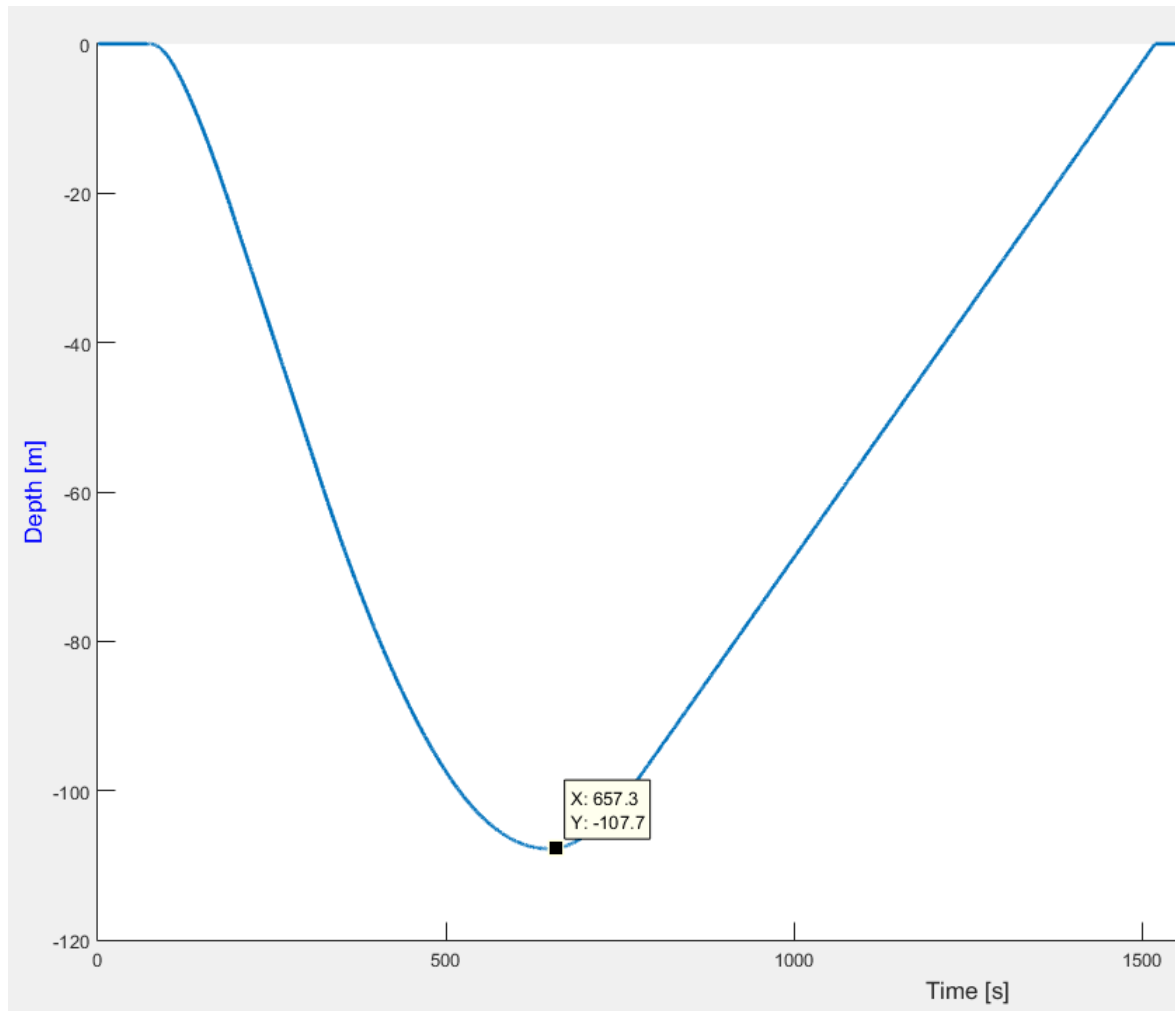


Figura 51 Profundidad adquirida por el vehículo expresado en metros con respecto el tiempo en segundos. Se muestra el punto en donde la bomba deja de funcionar por el exceso de presión.

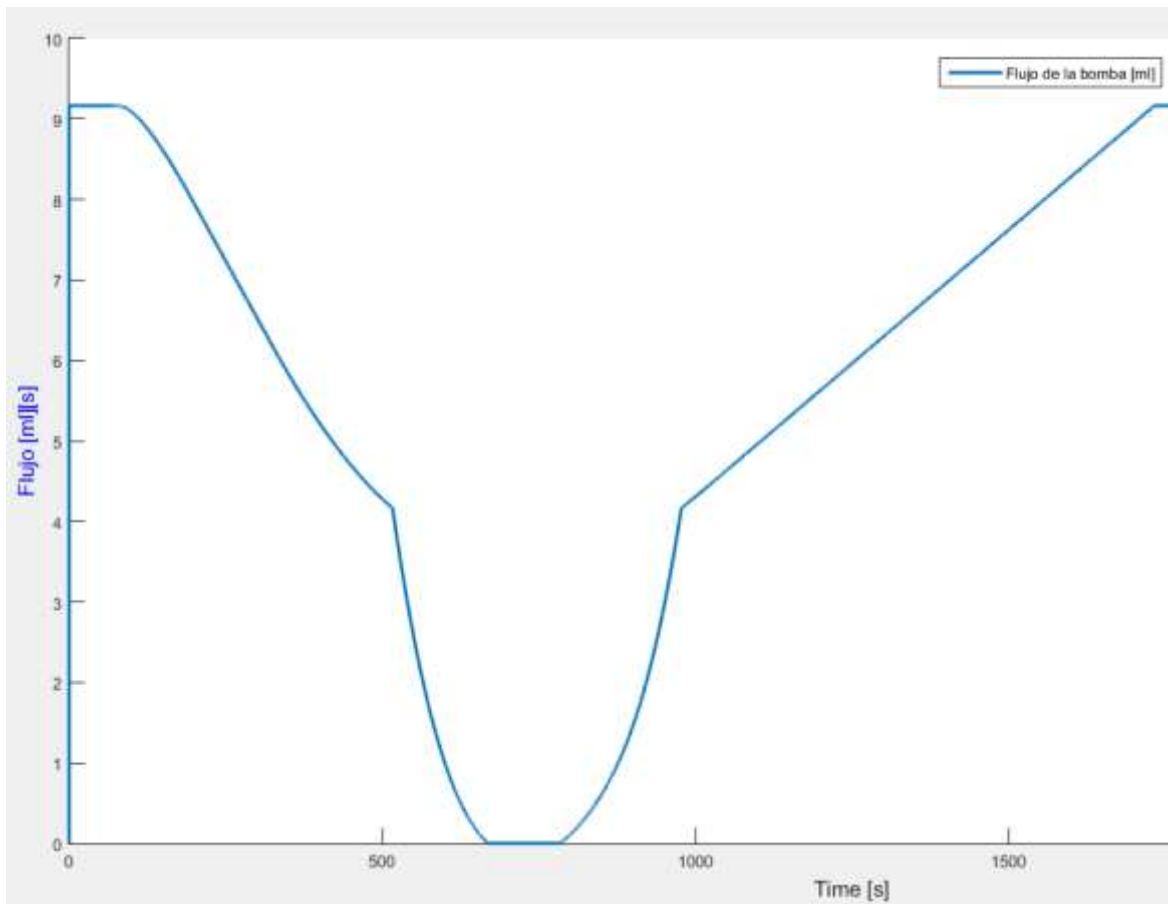


Figura 52 Resultado de la simulación en su inmersión vertical del flujo de la bomba. Eje horizontal en segundos y vertical en ml/s. Se aprecian las dos curvas de trabajo de la bomba a las presiones marcadas por los puntos anteriormente extraídos de las especificaciones.

Se puede apreciar como el flujo máximo de la bomba va disminuyendo con la presión. Cuando llegamos al segundo tramo de la curva de trabajo la pendiente del flujo se acentúa llegando a detenerse. Con esta gráfica es fácil hacer una estimación del coste máximo de energía por parte de la bomba en una exploración vertical.

En la figura siguiente se aprecia el ciclo de vaciado y llenado de la bolsa exterior con respecto a la profundidad. La bolsa está completamente vacía llegando a los 20 metros de profundidad y empieza a llenarse a partir de los 57.5 metros. Marcado con un círculo rojo nos encontramos que la bomba ya no puede seguir llenando la bolsa, profundidad límite de los 110 metros.

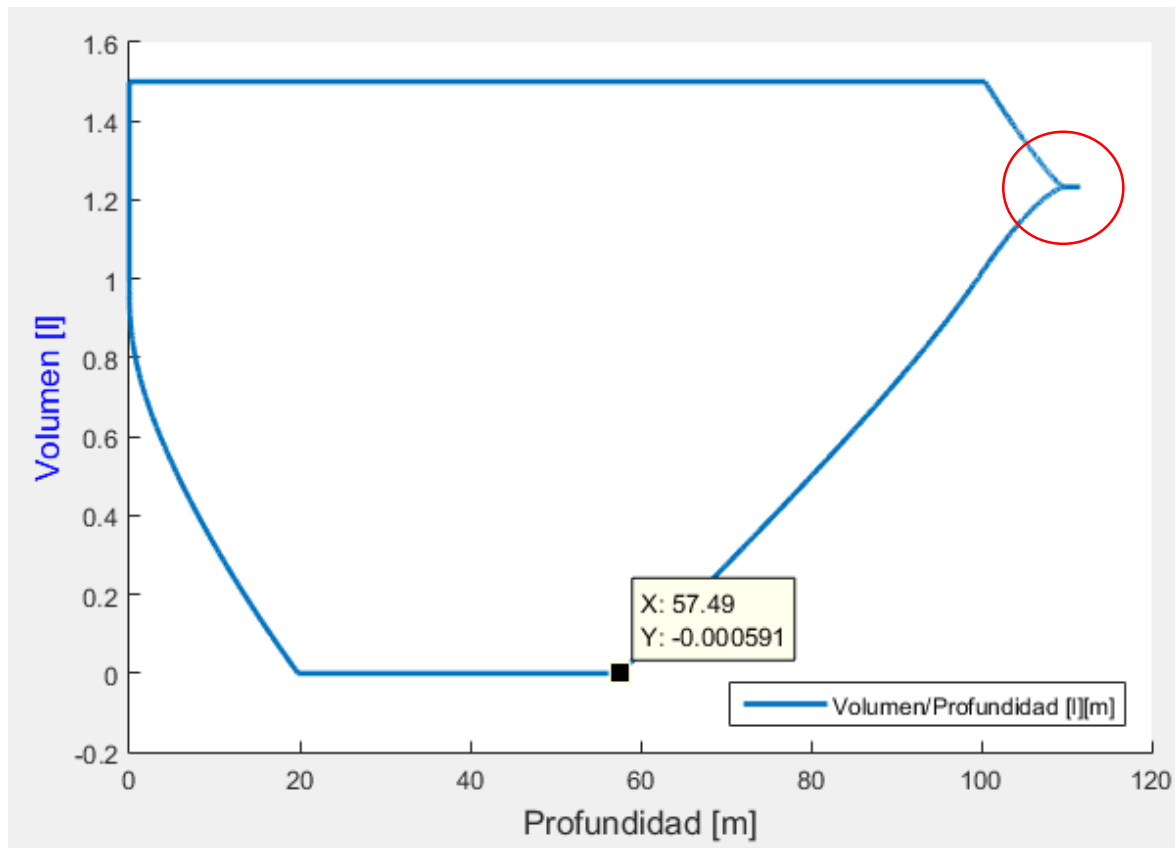


Figura 53 Resultado de la simulación en inmersión vertical. Eje horizontal en metros y vertical en volumen expresado en litros. Se aprecia el ciclo de llenado y vaciado de la bolsa exterior y se remarca con un círculo rojo el punto donde la bomba deja de trabajar.

7.1.3. Fiabilidad de las simulaciones

Para comprobar que las simulaciones son fiables aplicando el nuevo sistema, adaptamos las variables a las condiciones que tenía el vehículo cuando se realizó una prueba anterior y comparamos los valores de la simulación con los valores empíricos extraídos de dicha prueba [2].

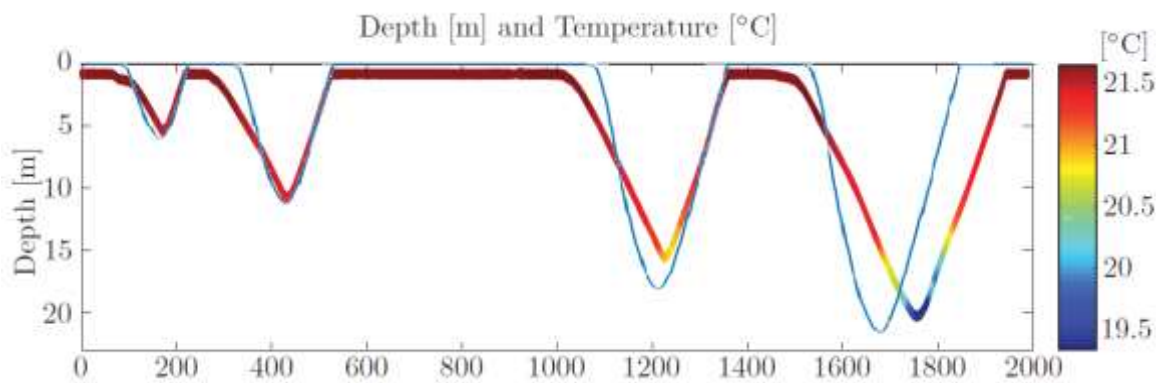


Figura 54 Imágenes superpuestas. Resultado comparativo entre la simulación realizada con el nuevo sistema (línea azul) y datos reales recogidos en una prueba anterior (línea multicolor) Expresado como eje vertical en metros y eje horizontal en segundos [2]

En este caso se han superpuesto los dos resultados para tener una visión más clara del resultado comparativo.

Como podemos observar los resultados empíricos, en multicolor, demuestran una diferencia entre las pendientes de inmersión y de emersión, siendo la de inmersión menos pronunciada. Esta diferencia es debida a las características del sistema anterior y a la naturaleza del motor que lo controlaba.

Comparando las dos gráficas, las pequeñas diferencias apreciadas entre los valores reales obtenidos y los simulados, son producto de los efectos dinámicos, corrientes, temperatura y otros factores que no son tenido en cuenta durante la simulación.

Podemos comprobar que las pendientes de las rectas de emersión de ambos casos son idénticas, lo que nos indica que la simulación es muy representativa de la realidad.

El comportamiento de la simulación es muy satisfactorio, lo que lleva a poder compararlo con un modelo real y pasar a su modelización.

8. Montaje y materiales

8.1.1. Planteamiento y colocación de componentes seleccionados

Una vez planteado el esquema a realizar y comprobar su viabilidad mediante simulación, realizamos un planteamiento, estudiando la colocación de cada componente. Extraemos sus características de conexionado aportados por la documentación.

Para facilitar el control y comprobación para la viabilidad en la interconexión de los diferentes componentes se ha realizado un esquema ilustrativo que muestra la colocación de los mismos y facilita el trabajo a la hora de realizar el pedido y la viabilidad en caso de alguna modificación.

La tabla adjunta, describe una descripción de cada componente y un numero de referencia para localizarlo en el esquema.



REFERENCIA ESQUEMA	Descripción
1	Adaptador de tubo a rosca recto neumático Legris, Serie 3.175, Conexión Macho R 1/4, 20, Encaje a Presión 6 mm, 6mm
2	Adaptador de tubo a rosca recto neumático Legris, Serie 3.101, Conexión Macho G 1/8, 20, Encaje a Presión 6 mm, 6mm
3	Sensor de Presión Absoluta para Airee, 0 ? 200kPa, 10 V dc
4	Adaptador roscado recto neumático Legris 0901 60 Latón, Macho G 1/4 Macho G G Macho 1/4plg 1/4plg
5	Vaso de expansión para ACS Extravarem LC 2 litros
6	Manguera de aire SMC, Azul, 20m, Poliuretano, -20 ? +60°C
7	Motor MGD 1000P + Eqi control de TCS Micropumps

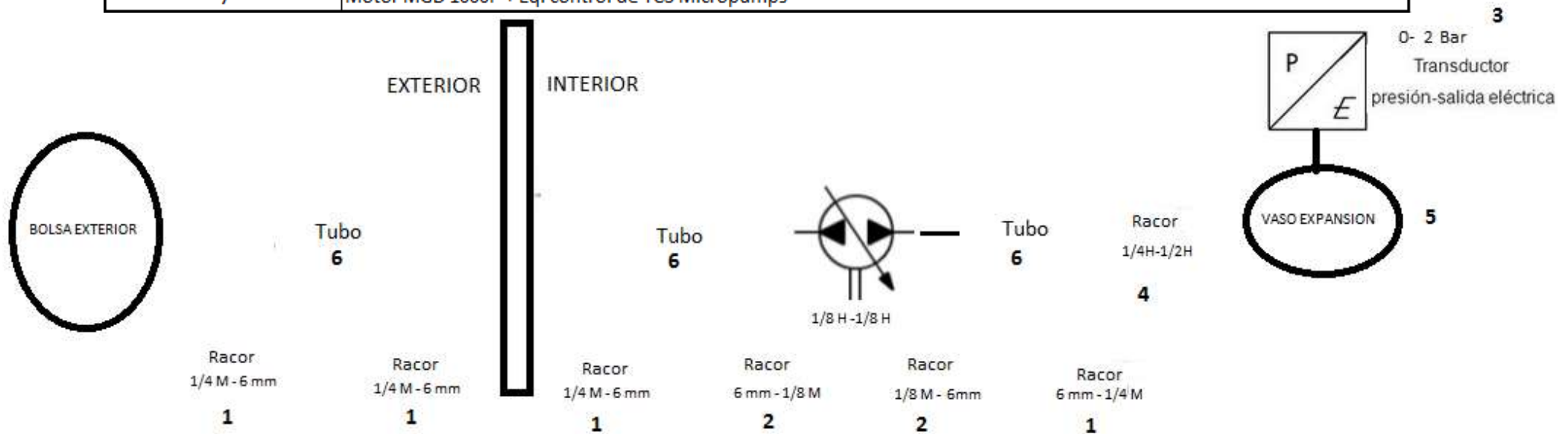


Figura 55 Esquema de la colocación de los componentes seleccionados, cada uno de ellos con su nombre, medida del conexión y numero de referencia a tabla de características que facilita la comprensión del montaje y el control del tipo de conexionado.

8.2. Diagrama eléctrico.

La ventaja de la elección del motor se puede observar en el controlador aportado por el fabricante EQi. Este controlador permite el control del motor mediante una señal analógica de 5 V dc. La alimentación del sensor de presión se realiza mediante la fuente existente de 5 V dc en el vehículo.

Para la implementación del sistema en el vehículo, será necesario utilizar una salida digital, con la que podremos decidir el sentido de giro de la bomba, una salida analógica con la que controlaremos la velocidad de la bomba y una entrada analógica para la lectura de la presión en el vaso de expansión.

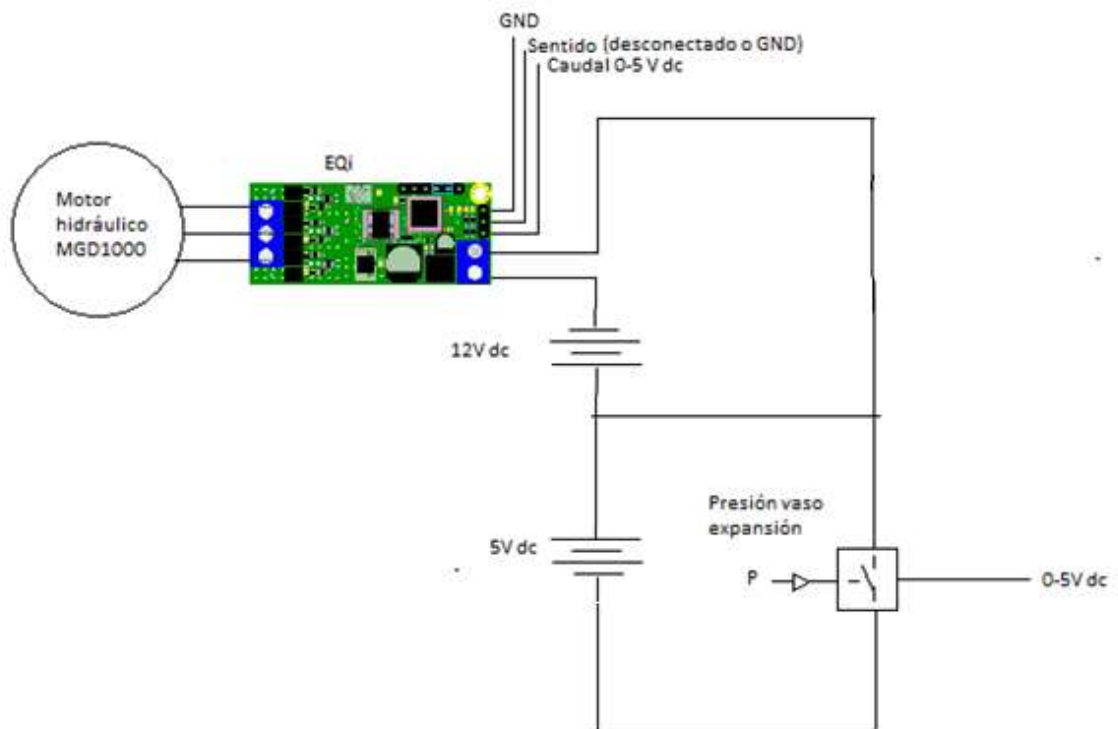


Figura 56 Diagrama de conexionado del sistema propuesto. Dispone de dos alimentaciones en continua distintas ya disponibles en el vehículo. El motor está controlado por el EQi. Este controlador es aportado por el fabricante del motor.

9. Pruebas experimentales

Teniendo en cuenta la adaptabilidad que ha sido necesaria a las circunstancias a la hora de gestionar el material, nos hemos visto forzados a realizar las pruebas experimentales con un material totalmente diferente y con un planteamiento modificado por las características de la bomba. Teniendo un tiempo mínimo para su adaptabilidad y puesta en marcha.

El objetivo será comprobar y demostrar de forma empírica el sistema expuesto, demostrando el funcionamiento y supervisando el sistema según el valor dado por el sensor de presión.

Nos encontramos con una bomba unidireccional de 100W a 12 V dc, que no soporta presión de entrada y con la única regulación posible por paro/marcha.

En este caso se ha optado por seguir el esquema de la Figura 34 [35] (Apartado 5 de este documento).

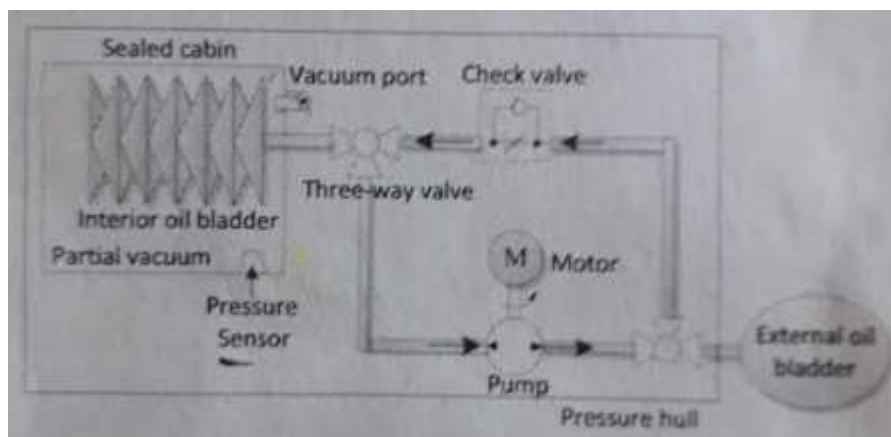


Figura 57 Se aprovecha este diseño estudiado anteriormente (Figura 34 de este documento) ya que se adapta a las características del material disponible.

Tenemos así mismo una electroválvula a 12V con una presión máxima de cierre de 8 bar que hace de bypass. La bolsa interior será un vaso de expansión de 0,75 l de capacidad y 8bar de presión máxima y como bolsa exterior, una bolsa de agua flexible de 0,5 l.

Las válvulas de tres vías serán sustituidas por conexiones directas en forma de T sin ningún tipo de control de paso.

El fluido utilizado será agua corriente.

Como simulación de vehículo, se utilizará un cubo de pintura vacío con tapa, de color azul.

9.1.1. Esquema eléctrico

El esquema eléctrico difiere un poco con respecto al presentado anteriormente (Apartado 8.2 de este documento). Al no disponer de un controlador y tener una electroválvula, es necesario incorporar relés para poder controlar el sistema con un microcontrolador.

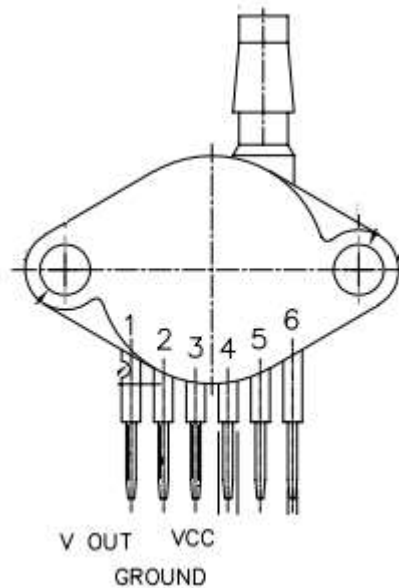


Figura 58 Extracto de las especificaciones del sensor de presión comprado [35].

Para la lectura de la presión se utilizan los tres primeros pines del sensor. VCC ira alimentado a 5V dc.

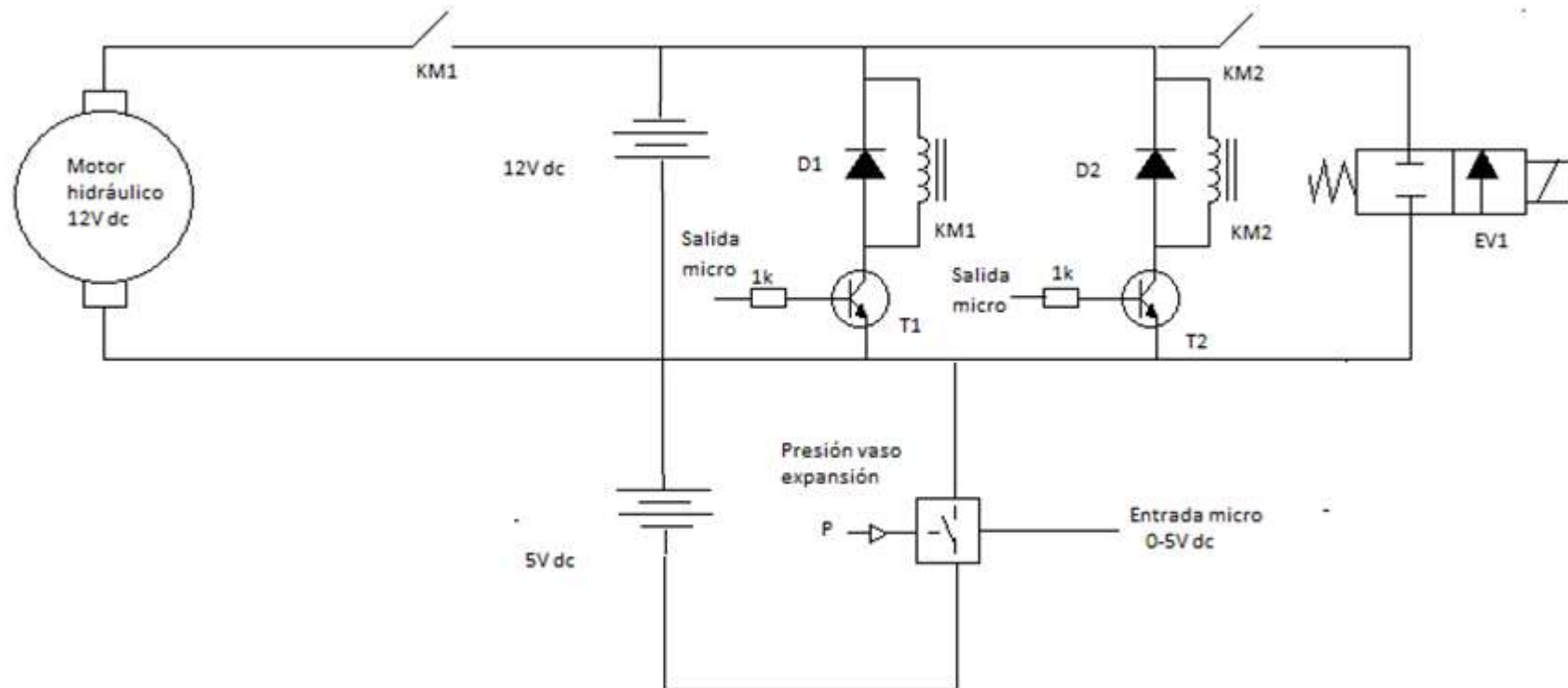


Figura 59 Esquema eléctrico planteado para el control del sistema de flotabilidad controlado mediante un microcontrolador de dos salidas digitales y una entrada analógica. El uso de transistores es opcional. Se incluyen en caso que las salidas del controlador sean de poca potencia para el gobierno de los relés.

9.1.2. Construcción y planteamiento

Para la realización del prototipo planteado inicialmente se ha realizado una lista de materiales necesarios para interconectar los diferentes componentes. Cada uno de los componentes dispone de un diámetro diferente lo que dificulta la interconexión de los mismos.

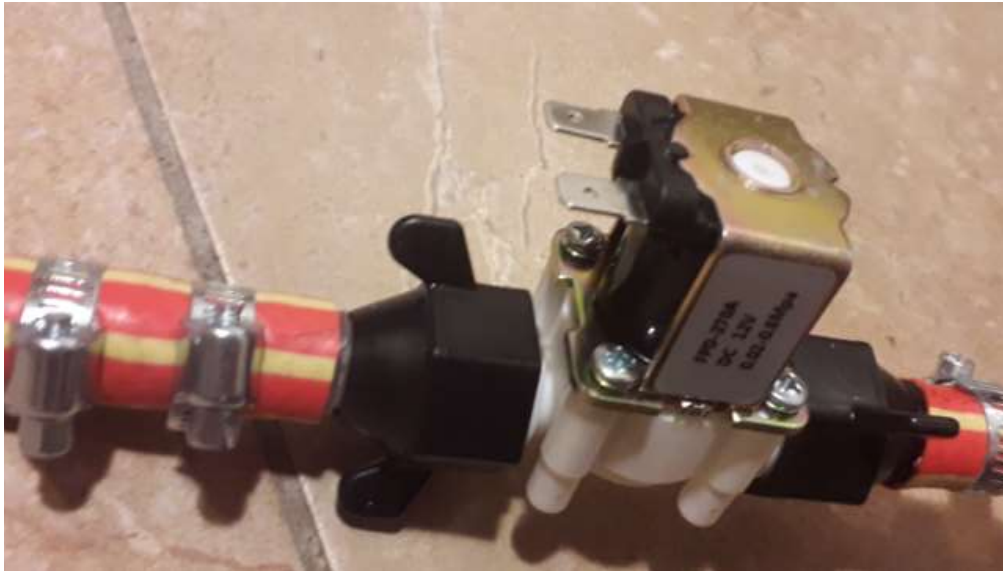


Figura 60 Detalle de la conexión a la electroválvula. Se aprecian los refuerzos para aguantar la presión adquirida por el sistema.

Uno de los puntos más importantes es la parte que afecta a la alta presión. Por las características del diseño la parte del circuito que soportara más diferencial de presión se encuentra en el lado del vaso de expansión. Es por eso que estas conexiones han tenido que ser reforzadas con bridas metálicas y esparto con grasa especial para las conexiones metálicas.



Figura 61 Detalle de la conexión a la electroválvula. Debido a la complejidad por los diferentes diámetros de conexión se ha reforzado el interior del tubo interior con un tubo de cobre de 16 mm^2 asegurando el paso por el conducto y la integridad de la conexión con una brida metálica.

9.1.3. Puesta en marcha

Una vez superado la dificultad de interconexión se ha procedido al llenado y cebado del sistema.

Cargamos el vaso de expansión con un poco de aire, el suficiente para poder realizar una medida del mismo a través del sensor en este caso 0,3V dc.

Inicialmente dejamos la electroválvula cerrada y el tornillo de cebado abierto. La bolsa exterior se ha sustituido por un depósito de agua. Al poner el sistema en marcha la bomba va absorbiendo el agua del depósito circulando por el sistema llegando a salir por el tornillo de cebado.



Figura 63 Prototipo construido. Cebado y con la bolsa exterior vacía.

Este tornillo permite la regulación de agua de salida. Sabiendo que el aire es menos denso que el agua, se localiza en la parte superior del sistema, a medida que el agua circula, vamos cambiando la posición del vaso de expansión asegurándonos que todo el aire sale del circuito.



Figura 62 Ampliación del detalle del tornillo para el cebado del sistema. En este caso pertenece a un radiador de una vivienda. Se aprecia en el lateral el punto por donde sale el aire y el tornillo de regulación en la parte superior.

Una vez que comprobamos que ya no sale aire, conectamos la electroválvula y repetimos el proceso anterior.

Una vez terminado, cerramos la electroválvula y vamos estrangulando el tornillo de cebado poco a poco. Cuando obtenemos una lectura de presión mínima paramos la bomba.

Conectamos la bolsa exterior vacía de forma que a la mínima presión esta se desconecte y desborde el agua, hemos de asegurar que la bolsa no adquiera presión. Activamos la electroválvula de forma intermitente hasta que la bolsa este totalmente llena. Desconectamos la bolsa y cerramos con el dedo la salida para que no se vacíe. Seguimos activando la electroválvula hasta que casi no haya presión. Volvemos a conectar la bolsa.

Activamos el ciclo de vaciado de la bolsa encendiendo el motor y medimos la diferencia de presión de vaso de expansión. Paramos el motor. Colocamos el tornillo de cebado en el punto más alto y abrimos un poco el tornillo de cebado asegurándonos que sale agua por él. y volvemos a llenar la bolsa activando la electroválvula.

Una vez superado con éxito la puesta en marcha y el cebado del sistema se deja el sistema en reposo durante unas horas con la bolsa vacía y presión en el vaso de expansión, para comprobar que no existen fugas de agua, ni pérdidas de presión.

El control para la prueba se ha realizado manualmente mediante un pulsador para la bomba y un interruptor para la electroválvula.

Como fuentes de tensión se han utilizado una fuente estabilizada a 12V dc y un conector USB como fuente de 5V dc. La lectura del sensor de presión se ha realizado mediante un multímetro, con lecturas entre 0.3 y 1.2V dc.

9.1.4. Prueba estanqueidad

Una vez comprobado el correcto funcionamiento del sistema se ha procedido a diseñar y construir un recipiente que simule el vehículo. Teniendo en cuenta las limitaciones instrumentales y la falta de un sistema inalámbrico, al recipiente se le incorporan dos salidas adicionales a lo establecido en el diseño. Como podemos apreciar en la siguiente figura, hemos dispuesto la tapa del recipiente con tres aperturas. El tubo transparente es el que comunicara con la bolsa exterior, un tubo negro de aire que va conectado al sensor de presión y un cable $4 \times 1 \text{ mm}^2$ para alimentación y señal de electroválvula.



Figura 64 Tapa del recipiente que simula el vehículo sumergible tras realizar la prueba de estanqueidad. Los conductos que se observan son para agua, aire y electricidad.

Antes de introducir el prototipo y realizar la prueba con él, se ha comprobado la estanqueidad. Los prensaestopas han sido reforzados con silicona transparente y la tapa con cinta aislante.

9.1.5. Colocación dentro del recipiente y búsqueda del punto de equilibrio.

Introducimos los componentes de forma que se pueda cerrar la tapa. Tenemos especial cuidado en la colocación del motor, la electroválvula y el embornado de conexión eléctrica. Miramos que estos componentes estén en el punto más alto posible por si entrara algo de agua durante las pruebas. Así mismo se incluye en el conexionado un fusible para el motor.

Tras tapar el cubo reforzando las juntas con silicona y esperar a que esta se seque, procedemos utilizar otro cubo el cual hará función de peso muerto e introducimos el peso suficiente para llegar al punto de equilibrio del sistema, después, lo fijaremos al conjunto, el peso del conjunto ronda los 15kg.



Figura 65 Se aprecian los componentes dentro del cubo que simula el vehículo de inmersión. Se cuida en la colocación que los componentes eléctricos estén alejados de la base.

9.1.6. Conclusión de las pruebas.

La realización de las pruebas es totalmente satisfactoria y sienta un precedente para su implementación en el Guanayll.



Figura 66 Conjunto tras las pruebas realizadas con éxito. En la parte inferior podemos ver el cubo que hace de peso muerto para contrarrestar el aire del cubo azul.

Tras introducir el conjunto en un cubo con agua, con la bolsa llena el conjunto se queda en la superficie. La medida del sensor nos indica 0.6V. Mediante el pulsador vamos vaciando la bolsa exterior y vamos observando el comportamiento del conjunto. Este lentamente va ajustándose a la superficie. Llegados a un punto este se precipita directamente hacia el fondo sin necesidad de seguir vaciando la bolsa. Cuando esto ocurre tomamos una lectura de presión de 1.2V.

Tras invertir el proceso y observar que el bidón sube a la superficie nuevamente, nos disponemos a buscar el punto exacto de equilibrio. Los resultados obtenidos dan una histéresis de 0.3V. En el proceso de inmersión, el conjunto, aun estando totalmente sumergido queda cerca de la superficie. Esto puede

ser debido al conjunto de mangueras de conexión que se sumergen con el conjunto y varían el volumen total del conjunto a medida que van sumergiéndose, además existe un rozamiento con los laterales del bidón de prueba al no ser su movimiento totalmente vertical debido a su geometría y punto de gravedad.

Durante la realización de las pruebas se ha comprobado el efecto de un cebado inadecuado. Al incorporar aire al sistema hidráulico, la bomba funcionaba irregularmente llegando el punto de formarse bolsas de aire en el interior de los conductos. Este hecho ocasionaba que, aunque el motor funcionara, el agua no circulase.



10. Análisis del impacto ambiental

El principio básico dentro de las políticas ambientales actuales reside en la prevención. El evitar cualquier impacto ambiental, contaminación o danos ecológicos, durante el desarrollo, construcción y puesta en marcha de un proyecto antes que aplicar medidas a los efectos ocasionados.

Dentro de la jurisprudencia la Directiva Europea se remarcen las repercusiones que pueden tener los proyectos creados y marcan una buena respuesta a la hora de prevenir incidentes.

Esta jurisprudencia, se actualiza regularmente. La Directiva Comunitaria de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es la encargada de ello.

Entre otras consideraciones mencionadas en ella, son remarcables algunos aspectos. Proteger la incidencia y tener en cuenta los efectos que puede causar el proyecto sobre la salud humana, cuidar el entorno para mejorar la calidad de vida, velar por la diversidad de especies y conservar en todo momento su desarrollo y reproducción como recurso fundamental para la vida.

La ley española 26/2007 de 23 de octubre de responsabilidad medioambiental, insta un régimen de administrativo de responsabilidad medioambiental de carácter objetivo e ilimitado. Entre otros especifica la necesidad de adoptar medidas necesarias para prevenir limitar o impedir danos ambientales.

Para lograr la protección, defensa y mejora del medio ambiente nos fijamos en la gestión ambiental, que dirigen y manejan los agentes implicados, tanto activos, los que lo causan, como pasivos, los que se ven afectados.

Las empresas, consumidores y Autoridades, deben cumplir una serie de principios como agentes responsables de dicha conservación.

Ley 16/2015, de 21 de julio, de simplificación de la actividad administrativa de la Administración de la Generalidad y de los gobiernos locales de Cataluña y de impulso de la actividad económica
Ley 6/2009, de 28 de abril, de evaluación ambiental de planes y programas
Ley 20/2009, de 4 de diciembre, de prevención y control ambiental de las actividades.
Ley 12/2006, de 27 de julio, de medidas en materia de medio ambiente y de modificación de las Leyes 3/1988 y 22/2003, relativas a la protección de los animales, de la Ley 12/1985, de espacios naturales, de la Ley 9/1995, del acceso motorizado al medio natural, y de la Ley 4/2004, relativa al proceso de adecuación de las actividades de incidencia ambiental
Decreto 136/1999, de 18 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento general de desarrollo de la Ley 3/1998, de 27 de febrero, de la Intervención Integral de la Administración Ambiental, y se adaptan sus anexos.

Figura 67 Extracto de la legislación autonómica a seguir en Catalunya con referencia al impacto ambiental [36]

Entre los diferentes tipos de evaluación del impacto ambiental tenemos:

Informe ambiental, que analiza una serie de condiciones ambientales y aporta diferentes soluciones correctoras. Como tal, se puede considerar un paso previo a la realización del proyecto real para la evaluación de la necesidad de realizar un EIA, Evaluación de Impacto Ambiental. El contenido del informe identifica los impactos de más transcendencia y se usara como indicador para las actuaciones que resulten oportunas aplicar.

La Evaluación Preliminar de Impacto Ambiental incluye el detalle y especificación de los impactos ambientales, identificándolos y valorándolos. Se especifica alternativas al proyecto, así como el anteproyecto del mismo. Se valoran por orden de importancia los impactos. Suele utilizarse asesorías para realizarlos, aunque no es estrictamente necesario.

Algo más resumido, donde solo destaca lo relevante es en una Evaluación Simplificada de Impacto Ambiental. Se realiza de forma sencilla sin llegar a ponderar los impactos aun que si se detalla el más relevante.

Por ultimo en caso necesario tendríamos la Evaluación Detallada del Impacto Ambiental, que se exige, cuando las consecuencias son elevadas y el número de impactos destacable. Debe incluir medidas correctoras y suele estar dirigido por un director de Proyecto.

11. Valoración de riesgo.

El sistema propuesto está pensado para trabajar dentro del medio marino. Dentro de este proyecto se destacan dos afectaciones a dicho medio. Durante el funcionamiento normal del mismo, el medio sufre contaminación acústica y en caso de incidente puede verse el fluido hidráulico al mar.

11.1. Contaminación acústica

Teniendo en cuenta que disponemos de un motor que hace funcionar el sistema debemos seguir la normativa en este aspecto. La ley 42/2007 del Patrimonio Natural y la Biodiversidad. La contaminación acústica está considerada como uno de los problemas emergentes más graves, así como las basuras marinas.

Los cetáceos pueden incurrir en danos directos, a tejidos auditivos, corporales, acompañado de desorientación y danos graves causados por aeroembolismos.

Otras especies, se ven afectadas por este hecho con la interrupción de la comunicación acústica entre ellos, la falta de detección de depredadores o peligros, alteración en sus patrones de buceo y la tasa de su respiración, lo que conlleva a un elevado consumo energético.

Todo ello crea una pérdida de calidad de vida de las especies afectadas cambio en elección de presas y una reorganización a escala general de todo el medio ambiente.



Figura 68 Rango de frecuencias de barcos y ecosondas a los que son sensibles los cetáceos con barbas (misticetos) y dientes (odontocetos) [37]

La ley 41/2010 de 21 diciembre de protección de medio marino se establece dentro de un marco de actuación comunitaria, que determina los límites del ruido submarino de cada demarcación en unos niveles ajustaos para una mínima afectación a dicho medio.

En este caso al estar la bomba incluida dentro del recipiente estanco amortigua considerablemente la emisión de sonido, así mismo el funcionamiento de la bomba será por un periodo de tiempo muy corto actuando como perfilador vertical. En caso de control mediante PID, el funcionamiento será constante y debe ser considerado el su funcionamiento, analizando el entorno y localización donde efectuará la navegación.

11.2. Vertido sustancias al mar

Ya que disponemos de un recipiente que se encontrara en contacto directo con el medio, valorarnos a continuación el caso más grave en caso de incidente.

La Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Danos Medioambientales, dispone de un programa online MORA [38] promovido por el Ministerio para la transición ecológica, que puede ser utilizado de forma gratuita para dar una aproximación del coste que supone, la reparación, eliminación y/o restauración del medio afectado.

MORA es una aplicación muy completa, donde se pueden especificar múltiples incidentes. Tiene en cuenta la localización geográfica, el medio ambiental afectado, las especies involucradas y el tipo de impacto entre otros aspectos. Proporciona algunas soluciones posibles y facilita información de los métodos de actuación, así como el cálculo para la financiación del proceso.

En este caso hemos realizado una valoración de un accidente del dispositivo construido siendo el líquido hidráulico utilizado aceite de silicona, inorgánico no biodegradable con un vertido al mar de 2 litros. Como solución propuesta se pone la retirada mecánica y manual de vertidos muy pequeños en agua de mar de la zona afectada por dicho componente.

Concepto	%	Importe (€)
PEC Aplicación Técnica		1.275,16
%Seguridad por contingencia	20,00	255,03
% IVA	21,00	321,34
Total Aplicación Técnica		1.851,53
PEC Consultoría		6.452,82
%Seguridad por contingencia	20,00	1.290,56
%IVA	21,00	1.626,11
Total Consultoría		9.369,49
PEC Revisión y Control		5.112,00
%Seguridad por contingencia	20,00	1.022,40
%IVA	21,00	1.288,22
Total Revisión y Control		7.422,62
Total Reparación		18.643,65

Figura 69 Resultado extraído del programa MORA[38] para la recuperación y tratamiento de un vertido de una sustancia de 2 l, inorgánica no biodegradable en el mar.

Cabe decir que si se tratara de un carburante como tal el coste total se incrementaría hasta los 35.000€

Como se puede apreciar en el coste total calculado se incluyen los conceptos colaterales del accidente. Destaca el apartado de revisión y control, así como el de consultoría. Queda plasmado que la prevención de un incidente siempre es mejor que la solución de sus consecuencias.

Hay que tener en cuenta que en la valoración económica no se refleja el impacto sobre el medio, sino únicamente la actuación tras el incidente.

Como hemos visto en el apartado anterior la contaminación acústica puede afectar gravemente al medio marino y la aplicación de las medidas correctoras expuestas en este presupuesto presuponen el uso de embarcaciones y maquinaria que afectarían al medio marino.

Conclusiones

El sistema de flotabilidad actual del Guanay II funciona correctamente. La autonomía y el mantenimiento de dicho sistema requieren de una actualización.

Ha quedado ampliamente demostrado que cambiando la metodología y concepto utilizado para dicho control se aumenta considerablemente sus prestaciones. Con un mantenimiento mínimo y más espacio libre disponible en su interior. La mejora en eficiencia, alcance y autonomía energética, permitirán al vehículo realizar otros estudios hasta el momento no contemplados.

La demostración y realización del prototipo, corrobora sin lugar a dudas la posibilidad de la puesta en práctica de la nueva metodología y abre camino a la instauración definitiva en el vehículo.

El hecho de estar sus modificaciones subvencionadas por el departamento, comporta una dificultad añadida en la adquisición de componentes, la cual debe tratarse con la mayor diplomacia posible. Ello no comporta la imposibilidad de la realización, pero si es necesario tenerlo en cuenta para futuras modificaciones dando el tiempo y flexibilidad que ello requiere.



Presupuesto

Una vez determinados los aspectos técnicos y especificado el material necesario para realizar el montaje, se desarrolla durante gran parte de este proyecto un equilibrio entre precio, condiciones del proveedor, características técnicas de los productos, stocks disponibles, plazos y otros muchos factores que se van desarrollando y modificando mediante la creación de múltiples esquemas y presupuestos.

Nos encontramos pues, en la necesidad de coordinar distintos actores, que influyen en el resultado final, dando como resultado, la posibilidad del montaje del prototipo mostrado anteriormente.

La elaboración de un presupuesto, es pues, un elemento esencial y necesario, que ayuda a la interrelación de los intereses y condiciones de los distintos actores que actúan. Cada presupuesto realizado, presupone un estudio previo del montaje a realizar, asegurando la inclusión de todos los componentes y una coherencia entre ellos.

Cierto es, que la especificación y búsqueda de material no suponen en si un presupuesto completo, ya que solamente se especifica el material a utilizar y faltan otros conceptos de envergadura por reflejar, como son las horas de trabajo y el alquiler de locales o material para su realización.

El presupuesto presentado a continuación se desglosa en dos partes.

Por un lado, tenemos el listado de material utilizado para la realización del prototipo expuesto. No están incluidos los materiales eléctricos y electrónicos, que podrían hacer posible su funcionamiento automático, no ha dado tiempo a su desarrollo.

Algunos proveedores requieren de una demanda mínima de compra, al tratarse de un solo prototipo se entiende que el coste es por el total del pedido, independientemente de las piezas sobrantes. Los costes de envío por parte de los proveedores, se consideran gratuitos.

Por otro lado, se especifican unos costes supuestos de personal y alquiler de equipamiento, así como gastos de desplazamiento o envío de material.

Finalmente se expone un resumen de los conceptos principales incluyendo el coste total y especificando los impuestos directos soportados.

Al ser un prototipo subvencionado y pagado no se ha realizado un estudio para su posible financiación.

Presupuesto del material utilizado para el prototipo

DISTRIBUIDOR	SERIE	CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO TOTAL	UNIDAD NECESARIA	ESPECIFICACION PRECIO
RS	121-5521	1	T 1/2 -12-12	11,93 €	1	
rs	327-2292	2	T 12-12-12	9,17 €	1	Precio de las 2 unidades minimas
rs	227-5723	5	ADAPTADOR 12-8	18,33 €	1	Precio de las 5 unidades minimas
rs	126-0211	1	tapon nikel 1/2 M	2,42 €	1	
rs	310-8343	5	Racor 1/2 H-1/2H	19,97 €	1	precio por 5 unidades minimas
rs	368-0182	1	manguera pvc 12	22,11 €	1	
AMAZON		1	CBX Sports Botella de Agua Deportiva con pajilla 500ml Soft Flask para Correr, Running, Senderismo, Escalada Blanda, Ligera y Fácil de Llenar y Agarrar	16,95 €	1	
AMAZON		1	Akozon Válvula de solenoide de agua 12V G1 / 2"NC Válvula de agua de solenoide de entrada eléctrica para dispensar agua	10,19 €	1	
AMAZON		1	Tanque acumulador Seaflo de 0,75 l.	25,99 €	1	
AMAZON		1	Bomba de diafragma, 12 V, 8 l/min de alta presión, bomba de agua con presión de trabajo media de 100 psi para lavado en casa, CC 100 W	39,50 €	1	
AMAZON		20	Abrazadera de manguera - SODIAL(R) Abrazadera de manguera ajustable de rango 6-12 mm engranaje abrazadera de manguera 20 piezas del tono de plata	2,76 €	4	precio de las 20 unidades minimas
AMAZON		10	8 Baosity 10 Piezas PG7 PG9 PG11 PG13.5 PG16 Juntas De Prensastopas De Nylon Impermeables Blancas - Blanco-pg 16	5,52 €	3	precio de las 10 unidades minimas
AMAZON		4	Salkoti Pack 4 uds tapon radiador para purgador 1"-1/8" con Juntas	7,15 €	1	precio de las 4 unidades minimas
AMAZON		5	Waft Pack 5 purgadores orientable 1/8" Cromado	7,35 €	1	precio de las 5 unidades minimas
AMAZON		1	IBP Alargador Reducción MF de Latón Amarillo ibp-1/2 x 3/4	12,00 €	1	
AMAZON		1	3/4 "x 1/2" x hembra reducción bst masculino unión niple de latón cromado	8,00 €	1	
AMAZON			material diverso (cinta aislante, cable, conectores, silicona, sujeciones peso muerto)	20,00 €		

Subtotal

239,34 €

Figura 70 En la tabla siguiente se aprecian los componentes utilizados especificando el distribuidor, número de piezas compradas por requerimiento del proveedor, número de piezas utilizadas en el prototipo, una breve descripción y el precio total de cada producto.

		Horas	PrecioHora	Total
Ingenieria	Director proyecto	10	150	1.500,00 €
	Doctor	4	95	380,00 €
	Técnico	200	45	9.000,00 €
	Desplazamiento	1	30	30,00 €
Alquiler	Fuente alimentación	20	10	200,00 €
	Multimetro	20	5	100,00 €
	Espacio de Laboratorio	20	50	1.000,00 €
	Utensilios diversos	20	30	600,00 €
Subtotal				12.810,00 €

Figura 72 Parte del presupuesto que engloba al personal y alquiler a terceros de material.

Ingenieria	10.910,00 €
Alquiler	1.900,00 €
Material	239,34 €
Subtotal	13.049,34 €
IVA 19%	2.479,37 €
Total	15.528,71 €

Figura 71 Se expresa el coste total desglosando los conceptos principales.

Bibliografía

[1] Cesar Mauricio Galarza, «Tesis_Diseño del sistema de navegación en inmersión del vehículo Guanay II para aplicaciones de detección y seguimiento de vertidos de hidrocarburos en zonas costeras», Departamento de Ingeniería Electrónica UPC Universitat Politècnica de Catalunya, Diciembre 2017

[2] S. Gomariz, «Design and construction of the GUANAY-II autonomous underwater vehicle», de Oceans IEEE/OES : Oceans of energy for sustainable future, Santander: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Url:

https://www.researchgate.net/publication/224255591_Design_and_construction_of_the_GUANAY-II_autonomous_underwater_vehicle

[3] MGD1000P DataSheet, TCS Micropumps DS 31 ver 2 Url:

<https://micropumps.co.uk/TCSMGD1000range.htm>

[4] S. Gomariz, J. Prat, P. Gaya y J. Sole, «An autonomous vehicle development for submarine observation», Journal of Maritime Research, vol. 6, nº 2, pp. 23-36, 2009 Url:

https://www.researchgate.net/publication/42366122_Autonomous_vehicle_development_for_vertical_submarine_observation

[5] Leonardo Vite Terán. «Principio de Arquímedes.», Universidad autónoma del estado de Hidalgo Consulta: 10/5/2019 <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa4/n3/m4.html>

[6] www.rs-online.com

[7] Weicheng Sun, Qionli Jiang, Hua Yang, DeleiSong, Sitong Qin. «Research of an Accurate Buoyancy Adjusting Method of Underwater Glider Based on Temperature Compensation.», College of Information Science and Engineering and College of Engineering, Ocean University of China Qingdao OCEANSE junio 2017 Url:

<https://ieeexplore.ieee.org/document/8084638>

[8] Andrei V. Medvedev, Vladimir V. Kostenko, Anton Yu. «Depth Control Methods of Variable Buoyancy AUV.», Tolstonogov Institute of Marine Technology Problems FEB RAS, Vladivostok, 690950, Russia Febrero 2017

<https://ieeexplore.ieee.org/document/7890333>

[9] I. Masmitja, J. González, J. Prat y J. Del Rio, «Buoyancy model for Guanay II AUV», de OCEANS '14 MTS/IEEE., Taipei. China, 2014. Url:

<https://core.ac.uk/download/pdf/41775359.pdf>



[10] S. Gomariz, J. Prat, A. Arbos, O. Pallares y C. Violo, «Autonomous vehicle development for vertical submarine observation», Instrument Viewpoint, vol. 8, pp. 39-40, 2009

<https://core.ac.uk/download/pdf/41758419.pdf>

[11] SMOS contribuye al estudio de la acidificación de los océanos. ESA España. 18 de Febrero de 2015

[https://www.esa.int/esl/ESA_in_your_country/Spain/SMOS contribuye al estudio de la acidificaci
on de los oceanos](https://www.esa.int/esl/ESA_in_your_country/Spain/SMOS_contribuye_al_estudio_de_la_acidificaci%00n_de_los_oceanos)

[12] B/O Ramón Margalef . Instituto español de oceanografía. 2014. Url:

<http://www.ieo.es/es/flota>

[13] Servicios Científico técnicos de la UPC, Observatorio Submarino (OBSEA). Url:

<https://www.upc.edu/sct/es/equip/73/observatorio-submarino-obsea.html>

[14] Antoni Roca Rosell , «La ingeniería y el proyecto del Ictíneo de Monturiol(1857-1868).», 2002.

Scripta Nova, Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. Universidad de Barcelona vol.VI nº 119 (96) <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn119-96.htm>

[16] Laura Ballester Mora, Daniel García Sala. «Estudio batimétrico con ecosonda multihaz y clasificación de fondos.», Ingeniería Técnica Topográfica. Proyecto Final de Carrera UPC. Junio 2010

Url: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10663/MEM%00RIA_PFC_DANI-LAURA.pdf

[17] J. González Agudelo, «Thesis Contribution to the Model and Navigation Control of an Autonomous Underwater Vehicle», UPC Universidad Politécnica de Catalunya URL:

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/95737/TJGA1de1.pdf>

[18] Camilo Werlinger, Krisler Alveal Hector Romo, «Biología marina y Oceanografía: Conceptos y procesos.», Tomo 1, Concepción. Gobierno de Chile, Consejo Nacional del Libro y la Lectura, 2004 vol. 8

[19] National weather service. Climate prediction center. Global x-y Plost (Optimum Interpolation SST (after 1981)) jan 2019 Url : <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/GODAS/climatology.shtml>

[20] National weather service. Climate prediction center. Global x-z Plost (Temperature Ecuatorial (Jan 2019)) Url: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/GODAS/climatology.shtml>

[21] Las Plataformas Lagrangianas. Medclíc, el Mediterraneo a un clic. SOCIB:ICTS SOCIB Sistema d'observacio i prediccio costaner, obra social "la Caixa". Pumpun Dixital Url: <http://medclíc.es/es/instrumentos/plataformas-lagrangianas/>



[22] Ocean density, SADCO fun stuff, SAEON South African Enviromental Ovbservation Network NRF National Research Fundation Url: <http://app01.saeon.ac.za/sadcofunstuff/OceanDensity.htm>

[23] , Dr J Floor Anthoni, «The chemical composition of sea waters», (2000-2006) Seafriends.org Url: <http://www.seafriends.org.nz/oceano/seawater.htm>

[24] B. Rudels, «Artic Ocean Circulation», Encyclopedia of Ocean Sciences(Second Edition) 2009 Url: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/arctic-ocean>

[25] Mareógrafo WLR SEAGUAR . Aanderaa Data Instruments. Instrumentación oceanográfica. SIDMAR Estudios y servicios oceanográficos Url: <http://www.sidmar.es/wlr-seaguard.html>

[26] Perfilador Acústico de Subfondo HMS620. Falmouth Cientific Instrumentación oceanográfica. SIDMAR Estudios y servicios oceanográficos Url: <http://www.sidmar.es/HMS-620.html>

[27] Sonar de barrido lateral HMS1400. Falmouth Cientific. Instrumentación oceanográfica. SIDMAR Estudios y servicios oceanográficos Url: <http://www.sidmar.es/HMS-1400.html>

[28] Hidrofono icListen 1 1600Hz. Ocean Sonics Instrumentación oceanográfica. SIDMAR Estudios y servicios oceanográficos Url: <http://www.sidmar.es/hidrofono-iclisten-lf.html>

[29] Proyector de sonido icTalk HF. Ocean Sonics. Instrumentación oceanográfica. SIDMAR Estudios y servicios oceanográficos Url: <http://www.sidmar.es/proyector-de-sonidos-ictalk-hf.html>

[30] Stainlees Steel cylinders Festo. 2019/5 Url: <https://www.festo.com/media/pim/934/D15000100121934.PDF>

[31] Dr. J.Floor Anthoni, «The chemical composition of seawater», Seafriends. 2000-2006 Url: <http://www.seafriends.org.nz/oceano/seawater.htm>

[32] Attuatore a vite trapezia. ATL08. Linear-Mech Url:

http://www.linearmechanics.com/linearmechanics/azienda/azienda/documenti_prodotti/atl08_ita.pdf

[33] Sistemas de medición de recorrido. Festo 2015/10 Url:

https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_ES/PDF/ES/MLO-MME_ES.PDF

[34] Mahdi Choyekh, Naomi Kato, Ryan Dewantara, Hidetaka Senga, Hajime Chiba. «Depth and Altitude Control of an AUV Using Buoyancy Control Device», Journal of Electrical Engineering 4(2016) pag 133-149 Url:

<https://pdfs.semanticscholar.org/0973/d0081a1a799cfd771fc6b738617a0e62c77e.pdf>

[35] MPX4115A Series Integrated Pressure Sensor, Freescale semiconductor. Rev 5 1/2009 Url:

<https://docs-emea.rs-online.com/webdocs/1384/0900766b81384408.pdf>

[36] Legislación Autonómica, EIA Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental. Septiembre 2019. Url:

<https://www.eia.es/autonomica/>

[37] Natacha Aguilar, Ana Tejedor, «Documento técnico sobre impactos y mitigación de la contaminación acústica marina. Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España. Madrid 2012. Url:

https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/doc-tecnico-impactos-mitigacion-contaminacion-acustica-marina_tcm30-157028.pdf

[38] Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental. Ministerio para la transición ecológica. Gobierno de España. Actualización programa Abril 2018 Url:

<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/responsabilidad-mediambiental/modelo-de-oferta-de-responsabilidad-ambiental/>

[39] John Pike, «Cable –Controlled Undersea Recovery Vehicle(CURV)», Intelligence Resource Program, (FAS) Federation of American Scientists, Noviembre 1999 Url:

<https://fas.org/irp/program/collect/curv.htm>



[40] Kazuyoshi Hirata, Onboard Report 2001», Research Team of Hawaii Islands and Japan Marine Science Center (JAMSTEC) 9-2 ds ROV KAIKO. Url:

<https://pubs.usgs.gov/ds/2006/171/data/cruise-reports/2001/html/4ins/92.htm>

[41] Long-range autonomous underwater vehicle Tethys, MBARI Monterey Bay Aquarium Research Institute, 2017 Url:

<https://www.mbari.org/at-sea/vehicles/autonomous-underwater-vehicles/long-range-auv-tethys/>

[42] J. González, I. Masmitjà, C. M. Galarza, S. Gomàriz y C. Batlle, «Hydrodynamic model of the Guanay II AUV», de OCEANS MTS/IEEE Genova 2015.

[43] I. Masmitja, J. González, J. Prat y J. Del Rio, «Latest contributions to Guanay II», de 5th International Workshop on Marine Technology MARTECH 2013. ISSN/ISBN: 978-84-616-5764-3, Girona, 2013. Url:

<https://upcommons.upc.edu/handle/2099/13912>

[44] I. Masmitja,, «Aportacions realitzades al vehicle Guanay II AUV», UPC Universitat Politècnica de Catalunya Url:

<https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/19145>